



Duarte Nuno Franco Henriques Mergulhão

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Argamassas de cal aérea e metacaulino
Influência do traço, da cura marítima e da
idade**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil – Perfil Construção

Orientadora: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: António Santos Silva, Investigador
Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Válder Lúcio

Arguente: Prof. Doutora Maria Idália Gomes

Vogal: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2014

‘Copyright’ Duarte Nuno Franco Henriques Mergulhão, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Finalizada mais uma importante etapa, sinto necessidade de reconhecer quem prestou o seu contributo para que fosse possível a realização desta dissertação.

À Professora Doutora Paulina Faria, orientadora deste trabalho, agradeço por todo o apoio prestado, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação e pela disponibilidade para esclarecer dúvidas e rever trabalho executado.

Ao Engenheiro Vítor Silva, bolseiro da FCT-UNL, que acompanhou toda a campanha experimental desta dissertação e colaborou com os seus conhecimentos e experiência.

Aos colegas Tiago Branco, João Grilo, André Bandeira, João Carneiro, Ricardo Vieira e Rui Antunes, agradeço toda a entajuda e a partilha de conhecimentos e orientações.

Ao André Gameiro, bolseiro do projecto FCT-MEC METACAL, e ao Doutor António Santos Silva, co-orientador desta dissertação, agradeço a disponibilidade e a ajuda prestada nos trabalhos realizados no LNEC.

Por fim, gostaria de enaltecer o apoio dado, a todos os níveis, pela minha família e amigos.

RESUMO

O aparecimento de novas construções é, presentemente, escasso. Contudo, o surgimento de obras de reabilitação e/ou conservação é inevitável. A argamassa é um produto que está fortemente presente em intervenções de reabilitação e conservação.

As argamassas, usadas pelo Homem desde há muitos anos, viram, durante o século XX, um uso, quase generalizado, de cimento Portland como o ligante utilizado na sua composição. O uso de cimento Portland como ligante conduziu a argamassas de boa trabalhabilidade, com elevadas resistências mecânicas e um tempo de cura relativamente reduzido. No entanto, a reabilitação e a conservação exigem o uso de argamassas que sejam compatíveis com os suportes e as argamassas de cimento não verificam esse requisito.

As argamassas de cal aérea, com ou sem adição de pozolanas, indicam que, com base na sua longa existência, são as que melhor desempenho apresentam em intervenções de reabilitação e conservação.

Inicialmente inserida nos projectos FCT METACAL e LIMECONTECH, nesta dissertação caracterizam-se argamassas que têm como ligante cal aérea e percentagens de metacaulino de 0, 30 e 50% em substituição de igual massa do ligante. São também analisadas as influências do traço ligante:agregado da idade e da cura, nomeadamente face a um ambiente de cura com forte influência marítima, tão corrente em Portugal.

A cal aérea conduz a argamassas de endurecimento lento. No entanto, a adição de metacaulino, segundo os resultados, vem contrariar essa tendência. Os ensaios que avaliaram a resistência mecânica das argamassas concluíram que o metacaulino tem uma grande influência sobre este parâmetro, que nem sempre é favorável, principalmente nos traços mais fracos em ligante.

O comportamento face à acção da água também não deixa boas referências ao metacaulino, visto que a absorção de água por capilaridade foi considerável e a secagem não ocorreu de forma exemplar. Por outro lado, o ensaio de condutibilidade térmica valoriza claramente as argamassas onde esta pozolana está presente.

PALAVRAS-CHAVE:

Argamassa, cal aérea, metacaulino, ambiente de cura, reabilitação, conservação.

ABSTRACT

The emergence of new constructions is, nowadays, scarce; however, the emergence of rehabilitation and conservation works is inevitable. Mortars are building products that are strongly present in rehabilitation and conservation interventions.

Mortars, used by man for many years, have seen, during the twentieth century, an almost ubiquitous usage of Portland cement as a binder in their composition. The use of Portland cement as a binder led to good workability of mortar, with high mechanical strengths and a relatively low curing time. However, rehabilitation and conservation require the usage of mortars compatible with the old supports and cement mortars do not fulfill this requirement.

The lime mortars, with or without added pozzolan, indicate that, based on their long existence, are the suitable for rehabilitation and conservation works.

Initially integrated in the FCT-METACAL and LIMECONTECH projects, this work, characterizes mortars that have lime as a binder and metakaolin percentages of 0, 30 and 50% as a substitute for the same mass of binder. Analysis are also conducted regarding the influence of volumetric ratio, age and curing conditions, namely under maritime cure, which is so typical in Portugal.

Air lime leads to long hardening times of mortars. However, according to the results, the addition of metakaolin has shown to counteract this tendency. The trials in which the mechanical strength of mortars was evaluated concluded that metakaolin has a great influence on this parameter, which is not always favorable, especially at low volumetric ratios binder.

The metakaolin is not favorable to water action, because the water absorbed by capillarity was significant and the drying characteristics were not satisfactory. On the other hand, the thermal conductivity test clearly values the mortars where this pozzolan is present.

KEYWORDS:

Lime mortar, aerial lime, metakaolin, curing conditions, rehabilitation, conservation.

Índice

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. ARGAMASSAS	5
2.1. POLÍTICAS EUROPEIAS PARA A ENGENHARIA CIVIL	5
2.2. MATÉRIAS-PRIMAS DAS ARGAMASSAS.....	8
2.2.1. CAL AÉREA	8
2.2.2. METACAUPLINO	10
2.3. AS CONDIÇÕES DE CURA EM AMBIENTE MARÍTIMO	11
2.4. A OPINIÃO DE QUEM TRABALHA COM SITUAÇÕES REAIS	13
3. CAMPANHA EXPERIMENTAL	15
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS	15
3.2. FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS	15
3.3. EXECUÇÃO DAS AMASSADURAS.....	17
3.4. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	18
3.4.1. ENSAIO DE ESPALHAMENTO	18
3.4.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR.....	19
3.5. EXECUÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES	19
3.6. CONDIÇÕES DE CURA	21
3.6.1. CURA MARÍTIMA (CURA M).....	21
3.6.2. CURA STANDARD (CURA S).....	23
3.7. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	25
3.7.1. PLANEAMENTO DOS ENSAIOS	25
3.7.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	26

3.7.3. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO POR FLEXÃO.....	27
3.7.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	28
3.7.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	28
3.7.6. SECAGEM	30
3.7.7. POROSIDADE ABERTA	32
3.7.8. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA.....	34
3.7.9. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS	35
4. EXPOSIÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	37
4.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	37
4.1.1. CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO	37
4.1.2. TEOR DE AR	38
4.2. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	38
4.2.1. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	39
4.2.2. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO POR FLEXÃO E À COMPRESSÃO	42
4.2.3. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	48
4.2.4. SECAGEM	55
4.2.5. POROSIDADE ABERTA	61
4.2.6. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA.....	65
4.2.7. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS	67
5. DISCUSSÃO	73
5.1. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS.....	77
5.2. COMPORTAMENTO SOB ACÇÃO DA ÁGUA	78
5.3. POROSIDADE ABERTA E MASSA VOLUMICA APARENTE.....	81
5.4. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA.....	82
5.5. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS	83
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	85
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	85
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	88

BIBLIOGRAFIA	89
ANEXOS	93
ANEXOS I – RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS DE CADA PROVETE	95
ANEXO II – RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS DE CADA PROVETE.....	101
ANEXO III – FICHA TÉCNICA DO METACAUPLINO	107

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Ambiente de cura marítima	22
Figura 3.2 – Disposição dos provetes	23
Figura 3.3 – Condições no laboratório.....	24
Figura 3.4 – Acomodação dos provetes no laboratório.....	24
Figura 3.5 – Pesagem hidrostática	33
Figura 3.6 – Provetes imersos em solução de sulfato de sódio.....	36
Figura 4.1 – Módulo de elasticidade dinâmico	40
Figura 4.2 – MED 28 dias.....	40
Figura 4.3 – MED 90 dias.....	41
Figura 4.4 – MED 180 dias.....	41
Figura 4.5 – Resistência à tracção por flexão	43
Figura 4.6 – Resistência à tracção por flexão aos 28 dias.....	44
Figura 4.7 – Resistência à tracção por flexão aos 90 dias.....	44
Figura 4.8 – Resistência à tracção por flexão aos 180 dias.....	45
Figura 4.9 – Resistência à compressão	46
Figura 4.10 – Resistência à compressão aos 28 dias.....	46
Figura 4.11 – Resistência à compressão aos 90 dias.....	47
Figura 4.12 – Resistência à compressão aos 180 dias.....	47
Figura 4.13 – Coeficientes de capilaridade.....	49
Figura 4.14 – Valores assintóticos	50
Figura 4.15 – Curvas de absorção de água aos 28 dias	51
Figura 4.16 – Curvas de absorção de água aos 90 dias	52
Figura 4.17 – Curvas de absorção de água aos 180 dias	53
Figura 4.18 – Curvas de absorção de água para o instante inicial	55
Figura 4.19 – Curvas de secagem das argamassas com idades de cura de a) 28 dias, b) 90 dias e c) 180 dias	58
Figura 4.20 – Índices de secagem das argamassas de ambiente de cura a) standard e b) marítimo	60
Figura 4.21 – Porosidade aberta.....	61
Figura 4.22 – Massa volúmica aparente.....	63
Figura 4.23 – Influência do ambiente de cura na porosidade aberta e na massa volúmica aparente	64
Figura 4.24 – Condutibilidade térmica	66
Figura 4.25 – Média da variação de massa aos 28 dias	67
Figura 4.26 – Média da variação de massa aos 90 dias	68
Figura 4.27 – Variações de massa ao 9º ciclo.....	69

Figura 4.28 – Provete de argamassa L2_Mk30_M	70
Figura 4.29 – Provetes com argamassas de traço [1;3] com metacaulino.....	71
Figura 5.1 – Evolução do valor assintótico, do índice de secagem e da porosidade aberta.....	80

Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Traços em massa e razão água/ligante	16
Quadro 3.2 – Seis diferentes tipos de argamassa	16
Quadro 3.3 – Traços Volumétricos	16
Quadro 3.4 – Baridades dos materiais utilizados	17
Quadro 4.1 – Traços em massa, relações água/ligante e valores de espalhamento das argamassas	37
Quadro 4.2 – Percentagem de vazios nas diferentes argamassas	38
Quadro 4.3 – Módulo de elasticidade dinâmico	39
Quadro 4.4 – Resistência à tracção por flexão	42
Quadro 4.5 – Resistência à compressão	45
Quadro 4.6 – Coeficientes de capilaridade	48
Quadro 4.7 – Valores assíptóticos	49
Quadro 4.8 – Valores médios e respectivos desvios padrão do índice de secagem das diferentes argamassas	59
Quadro 4.9 – Porosidade aberta	61
Quadro 4.10 – Massa volúmica aparente	62
Quadro 4.11 – Condutibilidade térmica	65
Quadro 5.1 - Resultados gerais obtidos em cada ensaio	74

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Hoje em dia, o cimento Portland é o ligante mais comum das argamassas. No entanto, as argamassas remontam a tempos muito mais antigos, muito antes do aparecimento do cimento Portland, que apareceu apenas nos finais do século XIX. As argamassas são conhecidas há mais de 8000 anos, sendo tradicionalmente utilizadas na construção de paredes e muros e para revestir paredes, em que o ligante usado era a cal. Mais tarde, na altura do Império Romano, foram descobertas as pozolanas, que consistiam em cinzas vulcânicas que, finamente trituradas e misturadas com cal, produziam uma argamassa mais resistente e duradoura.

Durante século XX, em Portugal e um pouco por todo o mundo, o desenvolvimento industrial e económico tornou o cimento Portland o ligante mais usado na elaboração de argamassas, pois, durante grande parte deste século, o sector da construção civil evoluiu e cresceu consideravelmente, e o cimento Portland, produzido pela indústria em grandes quantidades, proporcionava elevadas resistências mecânicas e menor tempo de cura às argamassas, até aqui, feitas de cal. Contudo, já no final do século XX e no século XXI estão a ser encontradas fragilidades no uso desmedido do cimento Portland na elaboração de argamassas.

Uma das desvantagens associadas ao uso de cimento Portland é o impacto ambiental que o processo produtivo deste ligante provoca. Desde a extracção de matéria-prima, que gera degradação e contaminação da água e do solo, passando pelas elevadas quantidades de CO₂ que são libertadas para a atmosfera [MAURY e BLUMENSCHIN, 2012], os acidentes que ocorrem nas fábricas e afectam as populações (os mais comuns são as elevadas quantidades de partículas no ar, que chegam a cobrir grandes áreas de cinzas), como aconteceu em Janeiro de 2014 na localidade de Alhandra, concelho de Vila Franca de Xira, etc.. Todos estes problemas ambientais estão a pesar no uso de cimento Portland [DN, 2014].

A nível ambiental, a produção de cal aérea tem um comportamento bastante mais satisfatório que o do cimento Portland, uma vez que os consumos de energia são bem menores, pois a cal aérea é produzida a sensivelmente metade da temperatura a que é produzido o cimento.

Para além das vantagens ambientais que uma argamassa de cal oferece, também há vantagens construtivas muito relevantes. Está estudado e, nalguns casos testemunhado, que as argamassas de cimento Portland não são recomendadas para utilizar na maior parte das intervenções de reabilitação, pois estas argamassas são muitas vezes incompatíveis com os suportes já existentes que, em alguns casos, têm idades avançadas. As argamassas de cimento Portland são muito resistentes a nível mecânico e têm uma elevada retracção, o que por vezes origina fenómenos de fendilhação, estas são

as principais características destas argamassas que as tornam tão incompatíveis com certos suportes onde são aplicadas. Uma das soluções passa pela utilização de argamassas de cal aérea, onde a maior deformabilidade destas argamassas faz com que a aderência ao suporte seja mais favorável.

O uso de uma argamassa de cal aérea pode parecer, à primeira vista, estar a dar um passo atrás no que diz respeito à evolução dos materiais e técnicas de construção, pois estas argamassas têm tempos de cura longos e resistências iniciais muito fracas, quando comparadas com argamassas em que o ligante é o cimento. Com o intuito de superar estas desvantagens apresentadas pelas argamassas de cal aérea, são de extrema importância os estudos que testam o comportamento destas argamassas quando se adiciona material com características pozolânicas à sua composição. Pois a adição de pozolanas, em quantidades certas, pode conferir melhores características às argamassas de cal aérea, tornando-as assim em argamassas cada vez mais competentes para trabalhos de reabilitação.

A pozolana que está em estudo nesta dissertação é o metacaulino, obtida por calcinação do caulino, que é um minério existente em Portugal, a temperaturas entre os 500°C e os 800°C, seguida da sua trituração por forma a obter elevada área superficial específica [SIDDIQUE, e KLAUS, 2009].

Como o cenário português faz adivinhar que a reabilitação seja uma área com grande futuro, esta dissertação assume um papel importante, visto que estuda e compara argamassas de cal aérea com diferentes percentagens de metacaulino na sua composição. Outro ponto importante, também estudado e comparado nesta dissertação é o ambiente de cura. Visto que uma grande percentagem das edificações em Portugal se encontra junto à costa, é analisada a influência marítima nas argamassas.

Esta dissertação insere-se nos projectos financiados pela FCT METACAL, relativo ao estudo e optimização de argamassas com base em cal e metacaulino, e LIMECONTECH, que pretende contribuir para um maior conhecimento e boas práticas relativas à conservação de revestimentos com base em cal, e que terminaram em 2013.

1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

Esta dissertação tem como principal objectivo determinar as características de um conjunto de argamassas que têm como ligante a cal aérea, e que, partindo de traços volumétricos 1:2 e 1:3 de cal e areia, têm substituições parciais de massa de cal por massa equivalente de metacaulino, nas percentagens de 30% e 50%, em distintos ambientes de cura - um de cura marítima, junto à costa atlântica e outro standard em laboratório. Tem ainda como objectivo comparar as características dessas argamassas com as de argamassas idênticas condicionadas em ambiente de cura húmido [BRANCO, 2013; GAMEIRO et al., 2013].

Realizando ensaios a estes conjuntos de argamassas aos 28, 90 e 180 dias de cura, é possível determinar muitas das propriedades que estas apresentam. A caracterização das argamassas no estado fresco foi obtida através da determinação da consistência por espalhamento e teor de ar e a caracterização no estado endurecido subdividiu-se em três: mecânica (determinação do módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e compressão), física (determinação da absorção de água por capilaridade, da secagem, da porosidade aberta e da condutibilidade térmica) e química (resistência aos sulfatos). Deste modo, ficou-se a conhecer melhor cada argamassa e esse foi o objectivo essencial desta dissertação, pois esse conhecimento vai permitir que em situações práticas futuras seja possível aplicar a melhor argamassa para o caso em questão.

A comparação entre as argamassas estudadas nesta dissertação e outras argamassas conhecidas e já estudadas noutras dissertações, é fundamental para melhor avaliar as características de cada uma das argamassas. Essa comparação só é fidedigna uma vez que, geralmente, todos estes ensaios são realizados seguindo procedimentos normalizados, e, obviamente, todos os ensaios realizados nesta dissertação não fugiram à regra.

Nos tempos de hoje, o intuito desta dissertação é extremamente importante, uma vez que estas argamassas têm uma enorme aplicabilidade em obras de conservação e reabilitação. Estas áreas estão em franca expansão em Portugal e um pouco por toda a Europa, onde se encontra património arquitectónico digno de estima e edificações que, devido ao passar dos anos, carecem de intervenções.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, onde no primeiro é feita uma introdução ao trabalho com a respectiva definição dos objectivos.

O segundo capítulo apresenta os temas dos quais esta dissertação se baseia. É um capítulo essencialmente teórico, fortemente elaborado com base numa intensa pesquisa bibliográfica sobre a matéria.

O terceiro capítulo descreve exaustivamente todos os procedimentos experimentais a que esta dissertação obrigou, assim como uma breve descrição dos materiais utilizados e das condições de cura a que as argamassas foram sujeitas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados resultantes dos ensaios. Neste capítulo faz-se uma avaliação dos resultados e comparam-se as várias argamassas entre si.

O quinto capítulo relaciona as características das diferentes argamassas, compara-as com resultados obtido por outras dissertações com argamassas semelhantes e discute esses resultados com base em normas existentes.

O sexto capítulo exhibe um resumo das conclusões a que este trabalho conduziu e sugere estudos que possam ser levados a cabo no futuro com o intuito de enriquecer os conhecimentos sobre esta matéria.

No final encontra-se descrita toda a bibliografia utilizada para a elaboração desta dissertação e os anexos que mostram todos os resultados obtidos por cada ensaio de forma exaustiva.

2. ARGAMASSAS

2.1. POLÍTICAS EUROPEIAS PARA A ENGENHARIA CIVIL

A Europa está a travessar um período de crise económica. Perante este cenário, os Governos, e o português é um bom exemplo disso, decidiram suspender os investimentos públicos que estão invariavelmente associados à engenharia civil [AECOPS, 2011]. Os investimentos privados, que na sua maioria correspondem à construção de espaços para habitação, comércio e serviços, também registaram enormes quebras, devido à crise, a comprovar isso estão as enormes perdas de receitas que as câmaras municipais tiveram devido ao baixo número de licenciamentos emitidos [CM-Lourinhã, 2013].

Durante muitos anos foram muitos os investimentos em grandes redes de infraestruturas, mas agora, com a chegada da crise a Portugal e a muitos países da Europa, a indústria da construção ameaça a extinção, com muitos profissionais deste sector, desde engenheiros a serventes de pedreiro, a serem obrigados a emigrar para conseguirem sobreviver [RTP, 2014]. Tendo em conta este cenário negro, ilustrado diariamente pelos *media*, análises mais descuidadas podem levar à conclusão de que, tanto para o sector público como para o sector privado, já não há mais nada para construir na Europa, o que é totalmente falso! Até ao fim do século prevê-se que:

- O consumo energético tenha aumentado 100% – serão necessárias infraestruturas energéticas;
- Cada europeu viaje mais de 11 mil quilómetros por ano – serão necessárias redes transeuropeias de transportes;
- O transporte aéreo aumente acentuadamente – serão necessários sistemas intermodais;
- A temperatura suba em cerca de 3°C, o que conduz ao aumento das zonas secas e, em simultâneo, à subida no nível do mar, com ondas maiores e furacões – necessidade de infraestruturas hidráulicas e de protecção costeira;
- A população que vive nas cidades vai crescer entre 40 a 70% - serão necessárias redes de transportes [INGENIUM, 2013].

Nem só de novas infraestruturas carece a Europa, a manutenção das existentes também é de extrema importância, uma vez que permite poupar avultadas quantias de dinheiro, pois a manutenção conduz ao aumento do ciclo de vida das infraestruturas e desta forma reduz a necessidade de substituição que, regra geral, é sempre a opção mais dispendiosa a nível financeiro [INGENIUM, 2013].

No panorama nacional, as autarquias dão cada vez mais importância à necessidade de manter e reabilitar edifícios públicos com o intuito de os adaptar às necessidades actuais, assim como a requalificação dos espaços públicos [CM-Torres Vedras, 2014].

Uma prova de que o governo português está sensível à questão da reabilitação é, por exemplo, o lançamento do programa “Reabilitar para Arrendar”, onde fundos provenientes de um empréstimo concedido pelo Banco Europeu de Investimento se destinam a financiar 50% dos custos do investimento total de cada intervenção propostas [Portal da Habitação, 2014].

O impulsionamento do sector do turismo em Portugal também está a promover o aparecimento de muitas novas obras de reabilitação. Em 2013 foram inauguradas 31 novas unidades hoteleiras, num total de 2635 quartos, o que representa um aumento de 41% quando comparado com o ano anterior. Para 2014 está prevista a abertura de mais 25 novas unidades hoteleiras, num total de 1787 quartos. Uma grande percentagem destas novas unidades hoteleiras localiza-se nas principais cidades do país e muitas delas ocupam ou irão ocupar edifícios já existentes [RTP, 2014].

Nos edifícios de habitação, as preocupações com os consumos de energia são uma constante. Os elevados custos com energia têm levado muitos proprietários de imóveis a proceder a intervenções de reabilitação de modo a tornarem os seus edifícios menos dispendiosos. Não podemos esquecer que a Europa, que dispõe de fracos recursos energéticos, está concentrada no objectivo de reduzir o consumo de energia nos edifícios até 2050 [INGENIUM, 2013].

Como está demonstrado neste capítulo, o futuro da engenharia civil na Europa incide incontornavelmente nas áreas da manutenção e da reabilitação, como tal, é de prever que novas técnicas, procedimentos e materiais venham a aparecer e a ser estudados, com o objectivo de melhorar estas áreas da engenharia civil. Actualmente a necessidade de profissionais nessas áreas é uma realidade e as inúmeras formações que existem relacionadas com estes temas comprovam isso mesmo [AECOPS, 2011].

No século passado era comum em Portugal a produção das argamassas ser feita em obra. Esta tarefa não era fácil, pois estava dependente da vontade ou da força dos pedreiros, por isso, estava muito susceptível a erros, visto que as matérias-primas não eram medidas com rigor, não haviam registos, nem rastreabilidade e a reprodutibilidade não era assegurada.

No século XXI, e até já nos finais do século passado, passou a ser mais comum ver nos estaleiros das obras portuguesas argamassas produzidas em fábrica. Esta mudança veio acompanhar a evolução que a área da construção tem tido, pois cada vez mais os produtos e os sistemas são mais sofisticados, há mais, e mais complexas, normas, regulamentos e fiscalizações, as preocupações

ambientais são maiores e o tempo é um factor que cada vez tem mais valor, logo é natural que as argamassas tenham sofrido processos evolutivos.

As argamassas produzidas em fábrica asseguram uma melhor qualidade, sendo a produção inspeccionada em laboratório, garantindo assim, fabricos consistentes e rastreados. Outra vantagem é a economia de espaço no estaleiro da obra, ainda mais importante nas obras de reabilitação de edifícios que, geralmente, ocorrem no interior das cidades [APFAC, 2012].

Actualmente, a adição de aditivos nas argamassas pode alterar as suas propriedades de modo a torná-las mais adequadas à função para a qual se destinam. Essas adições de aditivos só são viáveis em argamassas produzidas em fábrica, uma vez que o rigor de produção é de nível laboratorial, ao contrário do que acontece em argamassas produzidas em estaleiro onde, muitas vezes, a mistura das matérias-primas é feita em condições deficientes e as pesagens dos constituintes das argamassas são muito pouco rigorosas, pesagens essas, que não sendo feitas com rigor, interferem significativamente nas propriedades das argamassas que recorrem a adição de aditivos.

As argamassas podem ter diversas finalidades: revestimento de paredes, interior ou exteriormente; assentamento de alvenarias; supressão de juntas; betonilhas de enchimento, vulgarmente usadas em pavimentos. Com diversas finalidades, é expectável que existam diferentes tipos de argamassas.

A argamassa não é mais que uma mistura homogénea de um ligante com um agregado, geralmente areia, e água, podendo por vezes conter aditivos. Os ligantes que são geralmente usados na elaboração de argamassas são o cimento e/ou a cal.

Devido às exigências actuais do mercado, explicadas nesta dissertação nos capítulos anteriores, são necessários estudos mais aprofundados das argamassas que usam cal como ligante.

Ensaio já realizados mostram que as argamassas de cimento Portland são extremamente rígidas. Quando o traço volumétrico é [1;2], estas argamassas atingem valores de resistência à compressão da ordem dos 49MPa e de resistência à tracção por flexão de 6,5MPa. Ao reduzirmos o traço volumétrico para [1;3], estas resistências baixam para valores da ordem dos 25,5MPa no que se refere à compressão e 4MPa para a resistência à tracção por flexão [LENART, 2013].

Estas elevadas resistências mecânicas que as argamassas de cimento Portland oferecem nem sempre são características importantes para o tipo de argamassa que se pretende obter. Ou seja, por vezes não é necessário que uma argamassa atinja valores de resistência à compressão desta magnitude, quando esta é aplicada com nenhuma função estrutural que a obrigue a, por exemplo, suportar cargas.

Regra geral, para as argamassas de cimento Portland, às elevadas resistências mecânicas estão associadas retrações significativas durante o processo de endurecimento da mesma. Como tal, fenómenos de retração conduzem a fissuração, o que numa argamassa que, por exemplo, está a revestir uma parede de alvenaria, é uma ocorrência que se tenta evitar ao máximo.

Argamassas que usam o cimento Portland e a cal como ligantes já demonstraram ter características muito úteis para o fim a que se destinam. Uma argamassa em que o ligante usado seja, por exemplo, 50% cimento Portland e 50% cal apresenta resistências à compressão e à tracção por flexão muito inferiores às argamassas em que o ligante é 100% cimento, no entanto, essas resistências mecânicas, apesar de inferiores, continuam a assegurar um bom desempenho à argamassa e melhora-lhe ainda outros atributos como, por exemplo a fluência, isto é, argamassas de cimento e cal são caracterizadas por menor fragilidade, resistindo assim a assentamentos diferenciados que por vezes ocorrem nos suportes onde estão aplicadas, provocando o aparecimento de fissuras [LENART, 2013].

Nas intervenções de reabilitação é comum ter uma argamassa de revestimento nova que é aplicada sobre uma já existente. Nestes casos é imprescindível que esta adesão seja bem sucedida. O ensaio de arrancamento (Pull-off Test) é um bom indicador desta característica da argamassa e também neste parâmetro as argamassas com cal e cimento na sua composição apresentam valores mais satisfatórios do que argamassas que apenas usam o cimento como ligante [MARTINS, 2010] [LENART, 2013].

2.2. MATÉRIAS-PRIMAS DAS ARGAMASSAS

2.2.1. CALAÉREA

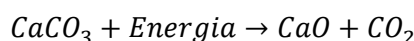
A norma NP EN 459-1:2011 (com a primeira errata editada em 2012), que tem como título “*Cal de Construção – Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*”, define dois tipos de cal para construção. Um desses tipos de cal é a hidráulica, que é obtida através do processamento de calcários com 8 a 20% de argila e outras impurezas (estes calcários também são designados por margosos) e, como o próprio nome sugere, tem propriedades hidráulicas. O outro tipo de cal é a aérea, esta sem propriedades hidráulicas, é obtida pela cozedura do calcário puro, em que puro designa um calcário em que a percentagem de argila e outras impurezas não excede os 5% [IPQ, 2011].

Focando apenas a cal aérea, usada como ligante nos ensaios desta dissertação, esta pode ainda ser dividida em dois tipos: gordas e magras. As cals aéreas gordas são obtidas através de calcários muito puros, em que os teores de carbonato não são inferiores a 99% e apresentam uma melhor trabalhabilidade. As cals aéreas magras são as que derivam de calcários em que as percentagens de

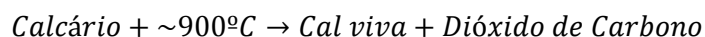
argila e outras impurezas são de 1% a 5%. Devido aos altos teores de carbonato que os calcários que dão origem às cais gordas, estas apresentam uma cor branca. As cais magras exibem uma cor mais acinzentada, visto que na sua origem estão compreendidos calcários menos puros, ou seja, com teores de argila e de outras impurezas superiores [SOUSA-COUTINHO, 1988a].

O magnésio aparece muitas vezes associado ao cálcio, por isso, na natureza, é frequente encontrar calcários em que o mineral predominante é a dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Esses calcários também podem dar origem a cal. Segundo a normalização europeia, uma cal aérea cálcica, que é constituída essencialmente por óxido de cálcio, designa-se por uma sigla que contém as letras CL. As letras DL, designam uma cal aérea dolomítica, que é constituída sobretudo por óxido de cálcio e óxido de magnésio [VIEIRA, 2013].

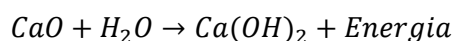
A cal viva é o produto obtido pela cozedura dos calcários:



Ou seja:

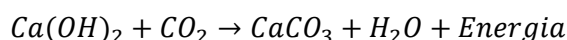


A cal apagada, também chamada de cal extinta ou cal hidratada, é o produto obtido pela reacção da cal viva com água:



A esta operação chama-se extinção da cal e, para além de ser uma reacção exotérmica (há libertação de calor), verifica-se aumento de volume, logo também é uma reacção com expansão.

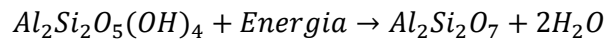
O endurecimento da cal apagada faz-se por reacção desta com o carbono da atmosfera:



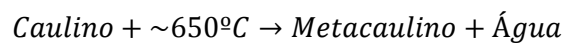
Como se verifica, o resultado desta reacção é novamente o carbonato de cálcio, água e libertação de energia. Esta recarbonatação é uma reacção química lenta, exotérmica e em que há retracção, daí o uso de areias nas argamassas de cal, pois, para além de facilitar o contacto de mais partículas da argamassa com o dióxido de carbono presente no ar da atmosfera, evita a retracção de secagem e consequente fissuração [VIEIRA, 2013].

2.2.2. METACAUULINO

O metacaulino é uma pozolana artificial, obtido por desidroxilação quase total de caulinos que são um minério composto de silicatos hidratados de alumínio, bastante abundantes na crosta terrestre (ocorrem até 10 metros de profundidade). No processo de desidroxilação verifica-se uma substancial perda de água de constituição com a correspondente alteração da coordenação do alumínio com o oxigénio [PROENÇA, 2011].



Ou seja:



Como no processo de produção de metacaulino há, basicamente, libertação de água, as emissões gasosas de dióxido de carbono são muito reduzidas, logo podemos afirmar que este processo não é muito agressivo para o meio ambiente. Além disso a temperatura a que o caulino é sujeito para produzir metacaulino é muito inferior à necessária para produzir a clinquerização do cimento Portland [PROENÇA, 2011].

O metacaulino é um produto amorfo, com propriedades pozolânicas, pois, como é visível pela sua fórmula química, é rico em sílica e alumina e, como pozolana que é, por si só não tem propriedades ligantes, mas combinado com hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente e na presença de água, forma silicatos de cálcio e aluminatos hidratados, compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes.

O metacaulino tem um tamanho inferior a $16\mu m$ em 99% das suas partículas, sendo o seu tamanho médio de aproximadamente $3\mu m$, logo é um material muito fino, o que aumenta a reacção pozolânica, graças à elevada superfície específica [SIDDIQUE e KLAUS, 2009].

A característica que o metacaulino tem de reagir com a cal aérea melhora o desempenho das argamassas. Usado nas proporções certas, o metacaulino aumenta a durabilidade das argamassas, aumenta a resistência ao ataque químico, reduz a permeabilidade, aumenta as resistências mecânicas, reduz o potencial para o aparecimento de eflorescências, aumenta a trabalhabilidade e melhora a qualidade de acabamento [SIDDIQUE e KLAUS, 2009].

Também para os betões o metacaulino pode proporcionar benefícios a nível do seu comportamento mecânico e da protecção contra a acção dos cloretos, mas o destaque vai para os benefícios ambientais, pois num betão tradicional em que o ligante é o cimento Portland, ao substituir-

se este ligante por metacaulino, mantendo ou melhorando o desempenho do betão, tem-se como resultado um betão mais económico, sustentável e amigo do ambiente [FIGUEIREDO, 2011].

O caulino está presente em muitos países como os Estados Unidos da América, Brasil, China, França, Alemanha, entre outros. O metacaulino, originário no caulino, tem propriedades que permitem suprimir algumas características menos boas das argamassas que usam exclusivamente a cal aérea como ligante, como por exemplo, o elevado tempo de cura, reforçando assim sua importância e adequabilidade a intervenções de reabilitação [BRANCO, 2013].

2.3. AS CONDIÇÕES DE CURA EM AMBIENTE MARÍTIMO

Portugal é um país com uma costa muito extensa. A zona continental tem 1230 km de costa e, juntando a parte insular, esse valor excede os 2000 km. A acompanhar esta característica geográfica do país, existe o facto de grande parte do edificado português se situar em concelhos da orla costeira. Esta tendência levou, e continua a levar, a que o interior do país vá ficando cada vez mais desabitado, visto que as cidades à beira mar atraem cada vez mais pessoas devido ao maior número de empregos que oferecem, serviços, redes de transporte, cultura, etc.

A forte ligação que a população portuguesa tem com o mar, daí o facto de se instalarem em zonas costeiras, remonta ao tempo dos descobrimentos. Como tal, muitas das construções junto ao mar, também datam dessa mesma época. Assim sendo, é fácil encontrar em Portugal edifícios históricos, de grande valor patrimonial, expostos às exigentes condições de ambiente marítimo e que são de extremo interesse conservar e restaurar [FALCÃO, 2010].

Estes edifícios antigos usaram na sua maioria argamassas de cal aérea de traço volumétrico [1;3]. Ainda que os traços usados para a elaboração de argamassas fossem, por vezes, pensados e obtidos de uma forma artesanal, de modo a apresentar resultados finais aceitáveis, isto é, tinham que conferir uma boa trabalhabilidade e homogeneidade e, depois de seca, a argamassa teria que mostrar coesão e fissurar o menos possível [FALCÃO, 2010].

De um modo geral, verifica-se que as argamassas produzidas antigamente tiveram êxito. Em muitos casos estas cumpriram com sucesso os objectivos a que se destinaram e apresentaram uma durabilidade muito superior ao que se espera de uma argamassa produzida nos dias de hoje.

Apesar da boa qualidade que estas argamassas apresentam, não são eternas. Os agentes ambientais a que estão sujeitos, principalmente os de ambiente marítimo, causam danos com o passar dos anos. A proximidade do mar faz com que uma grande quantidade de sais agreda as argamassas

que estão expostas ao ar ou até mesmo em contacto com a água do mar. A acção mecânica das ondas, a elevada exposição solar, variações de temperatura e ventos fortes são outras acções que podem provocar desgaste em argamassas expostas a um ambiente marítimo [VEIGA et al., 2009].

Aquando da necessidade de serem reparados, edifícios que estão expostos a agentes agressores devido à proximidade do mar, as argamassas recomendadas para este tipo de intervenções são as que têm como ligante a cal com adição de pozolanas, pois as argamassas de cimento são, geralmente, incompatíveis com os suportes já existentes.

As argamassas de cal e cimento também têm sido usadas nestas intervenções, obtendo resultados aparentemente satisfatórios, no entanto, o cimento deve ser evitado sempre que possível, pois em ambiente marítimo há muito sal que, devido aos seus iões alcalinos, provoca danos no cimento [VEIGA et al., 2009].

Estudos levados a cabo pelas investigadoras do LNEC [VEIGA et al., 2009] demonstram a importância de realizar ensaios a argamassas fora dos laboratórios. Estas investigadoras realizaram ensaios *in situ* num forte perto de Lisboa, que outrora serviu para defesa do território nacional das investidas marítimas por parte de povos inimigos. O estudo consistiu em reabilitar áreas das paredes do forte, visivelmente degradadas com o passar dos anos, usando cinco argamassas diferentes em que os ligantes usados foram: cal aérea e cal hidráulica; cal aérea e cimento branco; cal aérea e pozolana de Cabo Verde; cal aérea e sílica de fumo/microsílica (a microsílica aumenta a resistência e a durabilidade das argamassas, é vulgarmente usada em grandes obras de engenharia, como por exemplo, arranha-céus e grandes pontes, onde é adicionada ao betão para melhorar as suas características); cal aérea e metacaulino.

Os ensaios foram realizados *in situ* e como tal ficou provado que as condições de cura, neste caso em ambiente marítimo, têm muita influência nas características finais das argamassas de cal, pois obtiveram-se resultados diferentes dos esperados, com base em ensaios laboratoriais. Por vezes os resultados obtidos em laboratório podem ser enganadores, porque na prática as condições de cura e até mesmo as técnicas de aplicação são completamente diferentes.

Tendo ainda em conta os resultados obtidos neste ensaio levado a cabo pelas investigadoras do LNEC, chegou-se à conclusão que a argamassa de cal aérea e metacaulino era a mais adequada para a realização deste tipo de intervenção, pois os resultados obtidos por esta mistura foram muito satisfatórios, ou seja, a adesão ao suporte já existente foi eficaz, o comportamento à água (teor de água) e aos sulfatos também foi muito satisfatório e a nível mecânico cumpriu as exigências [VEIGA et al., 2009].

2.4. A OPINIÃO DE QUEM TRABALHA COM SITUAÇÕES REAIS

Aferiu-se, junto de empreiteiros, pedreiros e outros operários ligados ao sector da construção, os conhecimentos sobre o metacaulino e as vantagens do uso de argamassas de cal aérea.

Uma grande parte deste sector não tem qualquer formação académica nesta área. Contudo é importante ouvir o que sabem a respeito da matéria, pois muitos deles colmatam a falta de conhecimentos teóricos com muitos anos de experiência. Além disso, são eles que aplicam as técnicas e os materiais que, geralmente, os engenheiros desenvolvem e aconselham.

Tal como esperado, o metacaulino é uma pozolana quase desconhecida para empreiteiros, pedreiros e outros operários ligados ao sector da construção. No entanto, o sector afirma que pozolanas são “uma espécie de cinzas”, que por si só não têm propriedades ligantes e que quando são adicionadas às argamassas ou aos betões alteram as características destes. Não são muito usadas, a menos que haja situações muito específicas que requeiram mesmo a sua utilização. O seu preço, geralmente mais elevado, torna estas argamassas com adjuvantes menos procuradas.

No interior das superfícies de venda de materiais de construção, há uma imensa linha de argamassas prontas, vendidas em saco, lata ou a granel, com características variadíssimas: impermeabilizantes; com bom comportamento térmico; com funções decorativas recorrendo à cor; indicadas para intervenções de restauro; etc. Praticamente todas estas soluções apresentam adjuvantes na sua composição e os seus preços, em alguns casos, são muito superiores aos de uma argamassa mais simples, isto é, que não contenha adjuvantes e que o seu ligante seja, por exemplo, o cimento Portland.

Empreiteiros, pedreiros e outros operários ligados ao sector da construção, vêem a utilização da cal como uma mais-valia. Confirmam que as argamassas de cal são as que apresentam melhor comportamento quando o assunto são as “humidades”. Tendo em conta que, neste caso, esta classe opera maioritariamente na zona Oeste do país, uma zona de influência marítima e muito húmida nos meses de Outono e Inverno, é natural que o aparecimento de bolores devido à humidade seja uma realidade, no entanto, contraria mente ao esperado, grande parte das argamassas de reboco para paredes usam o cimento Portland como ligante. Segundo os mesmos intervenientes, o cimento Portland é um bom condutor de água, logo a sua aplicabilidade sai prejudicada, todavia há uma forte razão para ser usado, a sua presa muito rápida.

Para além de relativamente baratas, as argamassas de cimento Portland “secam muito depressa e aderem rapidamente ao suporte”. O seu curto tempo de endurecimento permite a execução de mais que uma camada num curto espaço de tempo e as suas características no que à aderência ao suporte dizem respeito, facilitam muito os trabalhos de reboco. Presenciaram-se, situações em que

zonas do suporte (neste caso era alvenaria de tijolo) eram ligeiramente molhadas sendo depois espalhado cimento nessas zonas, afim de a argamassa agarrar ainda melhor e mais depressa ao suporte, alterando assim o traço desta.

O uso e abuso do cimento Portland nas argamassas, não beneficia a construção a nível do aparecimento de humidades nem a nível térmico, mas a necessidade de construir em grande escala e com prazos de tempo cada vez mais apertados, conduziu a que os rebocos de argamassas com cal, que já chegaram a ser muito usados, caíssem em desuso no final do século passado, prejudicando por vezes a qualidade das construções.

Tomou-se conhecimento de dois apartamentos que comprovam as diferenças entre argamassas. Ambos os apartamentos ficavam a aproximadamente 150 metros do mar e eram apenas usados como casa de férias. Um deles tinha sido rebocado com uma argamassa de cal e cimento (foi impossível obter quaisquer informações sobre o traço) e o outro com uma argamassa em que o ligante era exclusivamente cimento Portland. As diferenças eram muito significativas. Nas paredes rebocadas com argamassa de cal e cimento não se encontrou bolores e foi garantido que estes não apareciam, no apartamento em que o reboco das paredes continha apenas cimento como ligante era bastante visível as machas de bolor nas superfícies, principalmente junto às pontes térmicas. Outra diferença notória depois de se rebocar uma parede com estas duas argamassas é a diferença de resistência mecânica que apresenta. Basta pregar um pequeno prego na parede para se verificar que a parede rebocada com uma argamassa de cal e cimento tem muito menos resistência que a parede de reboco de cimento.

Para colmatar as desvantagens trazidas pelos rebocos que só usam cimento como ligante, muitos espaços depois de rebocados são estucados. O estuque não é mais que uma massa de acabamento para interiores, composta por gesso, cal hidratada, pó de pedra e aditivos específicos para melhorar a trabalhabilidade e a aderência sobre os rebocos e, geralmente, é vendido em sacos e aplicado por uma máquina que o projecta.

A sensação é que esta classe da construção civil está cada vez mais preocupada com a qualidade dos edifícios que constrói, pois reconhecem os erros cometidos pela construção desenfreada dos anos 80 e 90 do século passado. Verifica-se que há mais preocupação na escolha dos materiais e técnicas a aplicar, não só a nível de argamassas, mas de tudo o resto. As preocupações com o conforto térmico são contantes, aliás, na zona Oeste, nos poucos edifícios que se estão a construir e até nalgumas obras de reabilitação, está a tornar-se usual utilizar EPS (poliestireno) para revestir o exterior do edifício. O excedente de espaços para habitação, comércio e serviços está a tornar a população da zona Oeste mais exigente e isso faz com que os profissionais da construção civil se apliquem para, cada vez mais, oferecerem ao mercado, que neste momento tem uma enorme possibilidade de escolha, espaços com mais qualidade, conforto e sustentáveis a nível ambiental e económico.

3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

Todas as argamassas foram elaboradas nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL. Houve, previamente, a planificação de toda a campanha experimental de modo a que o trabalho fosse realizado com o maior rigor possível evitando datas inoportunas para a realização de ensaios. A campanha realizou-se segundo os procedimentos do projecto FCT METACAL.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Ligante: Cal aérea hidratada em pó da marca Lusical H100 – classificada como uma CL90, em que CL indica tratar-se de uma cal calcítica, e 90 a percentagem mínima de massa de Óxido de Magnésio e Óxido de Cálcio presentes na cal.

Pozolana: Metacaulino (Mk) Argical M 1200S de origem francesa (ver anexo III).

Areias siliciosas: APAS 12 (areia grossa), APAS 20 (areia intermédia) e APAS 30 (areia fina) todas da marca AREIPOR. As areias foram utilizadas em mistura ao traço volumétrico [1;1,5;1,5] de APAS 12, APAS 20 e APAS 30 respectivamente. Houve a preocupação de fazer com que as areias não influenciassem as argamassas, daí se ter utilizados areias adquiridas em sacos fechados de 40kg, secas e bem graduadas. A escolha do traço volumétrico acima referido tem como objectivo obter uma mistura bem graduada, reduzindo assim o volume de vazios, o que conduziu a uma argamassa de boa compactidade e reduzidos fenómenos de retracção [GRILO, 2013].

O ligante, a pozolana e as areias estiveram, sempre que possível, fechados nos respectivos sacos de modo a não entrarem em contacto com o ar, mantendo assim as suas propriedades inalteradas.

3.2. FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Foram elaboradas seis argamassas diferentes. Os traços volumétricos preparados foram os [1;2] e [1;3], e as percentagens de metacaulino variaram entre 0%, 30% e 50%, relativamente ao volume. No quadro 3.2 é possível verificar as quantidades de metacaulino, água, cal aérea e de cada uma das areias que deram origem aos seis diferentes tipos de argamassa. No quadro 3.3 estão os traços volumétricos que foram estudados. Os traços em massa e a relação água/ligante são apresentados no quadro 3.1. No quadro 3.4 estão expressas as baridades dos materiais utilizados.

Quadro 3.1 – Traços em massa e razão água/ligante

		Traços em Massa						
Argamassa	Referência	L:Mk:S			(L+Mk):S		Razão A/L	Razão A/Lig.
		L	Mk	S	L+Mk	S		(L+Mk)
D1	L2	1	0,0	7,7	1	7,7	0,6	1,0
D2	L2_Mk30	1	0,4	11,1	1	7,7	1,0	1,0
D3	L2_Mk50	1	1,0	15,5	1	7,7	1,3	1,0
D4	L3	1	0,0	11,6	1	11,6	0,9	1,0
D5	L3_Mk30	1	0,4	16,6	1	11,6	1,3	1,0
D6	L3_Mk50	1	1,0	23,2	1	11,6	1,9	1,0

Quadro 3.2 – Seis diferentes tipos de argamassa

Argamassa	Referência	Massa (g)					Volume de água (mL)
		APAS 12	APAS 20	APAS 30	Mk	Cal aérea	
D1	L2	1129,6	1686,0	1665,6	0,0	579,2	1000
D2	L2_Mk30	1059,0	1581,0	1561,5	162,9	380,1	1000
D3	L2_Mk50	1059,0	1581,0	1561,5	271,5	271,5	1000
D4	L3	1129,6	1686,0	1665,6	0,0	386,1	950
D5	L3_Mk30	1129,6	1686,0	1665,6	115,8	270,3	970
D6	L3_Mk50	1129,6	1686,0	1665,6	193,1	193,1	1000

Quadro 3.3 – Traços Volumétricos

Argamassa	Referência	Traços Volumétricos (cm ³)	
		L:Mk:S Cal Aérea : Metacaulino : Areias	(L+Mk):S (Cal Aérea + Metacaulino) : Areias
D1	L2	1:0:2	1:2
D2	L2_Mk30	1:0,5:2,7	1:2
D3	L2_Mk50	1:1:3,3	1:2
D4	L3	1:0:3	1:3
D5	L3_Mk30	1:0,6:4,6	1:3
D6	L3_Mk50	1:1,4:6,4	1:3

Quadro 3.4 – Baridades dos materiais utilizados

Constituintes da Argamassa	Baridades (kg/dm ³)
Cal Aérea	0,3613
Metacaulino	0,294
APAS 12	1,412
APAS 20	1,405
APAS 30	1,388
Mistura das Areias	1,463

Todo o procedimento foi previamente definido no âmbito do projecto FCT-METACAL (FARIA, 2011).

Antes de se começar a trabalhar, verificou-se se todo o material que ia ser usado estava em boas condições e disponível. Verificou-se se todas as matérias-primas (areias, metacaulino e cal aérea) estavam em bom estado e se as suas quantidades eram suficientes. Conferiu-se a existência de luvas, batas de laboratório, mascaras para pó, cronómetro, sacos de plástico, 36 moldes metálicos para provetes, tabuleiros de metal, provetas graduadas, lápis, craveira, panos de limpeza, colheres de pedreiro, régua. Confirmou-se ainda o bom funcionamento da balança digital, da misturadora mecânica, da mesa de compactação e de mesa de espalhamento.

3.3. EXECUÇÃO DAS AMASSADURAS

Feitas as verificações, deu-se início à actividade prática: tendo em conta as quantidades ilustradas no quadro 3.2, pegou-se num tabuleiro de metal suficientemente grande e colocou-se sobre a balança (de precisão 0,1g). Tarou-se o tabuleiro. Com o auxílio de uma colher de pedreiro, foram colocadas no tabuleiro as quantidades de areia, cal aérea e metacaulino expressas no quadro 3.2 e por esta ordem. Estes elementos foram colocados cuidadosamente em diferentes zonas do tabuleiro de maneira a ser possível, caso necessário, retirar excessos de maneira a acertar com a quantidade estipulada pelo quadro 3.2.

Já com o tabuleiro com as quantidades rigorosamente medidas da argamassa a executar, procedeu-se ao passo seguinte, que consistiu na homogeneização dos constituintes pesados. Este processo foi feito calmamente com a ajuda de uma colher de pedreiro de forma a não sair nada do tabuleiro, mantendo assim as massas dos constituintes anteriormente pesados. Este passo da amassadura ficou concluído quando, visualmente, a homogeneização da mistura parecia evidente.

Pegou-se numa proveta graduada e mediu-se o volume de água descrito no quadro 3.2.

Colocou-se a mistura homogeneizada, que estava no tabuleiro metálico, para a cuba da misturadora mecânica. Mais uma vez este processo foi feito com cuidado para não haver perdas de massa.

Instalou-se correctamente a cuba na misturadora mecânica e entrou-se com esta em funcionamento na velocidade lenta durante 2,5 minutos (150 segundos). Durante os 15 segundos iniciais da amassadura foi introduzida a água medida na proveta graduada, de forma uniforme e contínua.

Ao fim de 150 segundos, parou-se a misturadora mecânica para proceder à raspagem das paredes e do fundo da cuba e da pá da misturadora. Este ponto da actividade experimental contou com a ajuda de uma colher de pedreiro e de um rapa, e teve como objectivo fazer com que toda a massa previamente pesada fosse misturada pela misturadora mecânica, obtendo desta forma uma argamassa que nos permitia conhecer os seu constituintes e as quantidades desses constituintes.

Para terminar a amassadura da argamassa, ligou-se a misturadora durante mais 30 segundos, sempre na velocidade lenta.

Foi repetido este processo mais cinco vezes de modo a obter as seis argamassas descritas no quadro 3.2. De amassadura para amassadura houve sempre a preocupação de limpar e/ou lavar bem os utensílios que intervieram no processo, assumindo-se assim que a possível contaminação das argamassas não existiu.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

3.4.1. ENSAIO DE ESPALHAMENTO

Concluída a amassadura mecânica foi feito um ensaio de consistência por espalhamento a cada uma das argamassas elaboradas.

Este ensaio tem como objectivo avaliar a trabalhabilidade da argamassa do seu estado fresco, conferindo assim a sua aplicabilidade em obra. O ensaio apoia-se na norma EN 1015-3:1999/2006. (CEN, 2006). Respeitando o projecto FCT-METACAL (FARIA, 2011), procurou-se obter argamassas com espalhamentos da ordem dos 150 ± 10 mm.

O procedimento seguido para a elaboração deste ensaio também se baseia no procedimento descrito no projecto FCT-METACAL (FARIA, 2011), e tem como primeiro item o humedecimento

da mesa de espalhamento, do cone e do varão, que foi conseguido usando um pano molhado. Logo de seguida, com o cone bem no centro da mesa de espalhamento, colocou-se a argamassa dentro deste até atingir aproximadamente metade da altura do cone. Esta camada sofreu 15 inserções do varão com a finalidade de eliminar os vazios existentes. Concluída a primeira camada, aplicou-se uma segunda camada, que, tal como na primeira camada, também sofreu 15 inserções do varão com o mesmo objectivo. Com o cone totalmente preenchido pela argamassa rasou-se a superfície do topo com o auxílio de uma espátula e removeu-se o cone cuidadosamente de modo a que a argamassa mantivesse a forma que o cone (molde) lhe tinha conferido. De seguida aplicaram-se 15 pancadas em 15 segundos na base da mesa de espalhamento rodando a manivela do equipamento. Para finalizar o ensaio, mediu-se, usando uma craveira e uma régua, o diâmetro da argamassa em três direcções diferentes, registando os três valores obtidos.

3.4.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR

Outro ensaio que foi realizado nesta fase consistiu em determinar o teor de ar pelo método pressiométrico a cada uma das argamassas preparadas.

O ensaio teve por base a norma NP EN 12350-7:2009 e um equipamento designado por “Air Content Tester” da marca alemã *Formtest*.

O procedimento arrancou com a colocação da argamassa dentro do pequeno balde do aparelho. A compactação foi assegurada com o auxílio de uma colher de pedreiro e, depois disso, rasou-se o balde com uma régua metálica.

De seguida, o balde totalmente preenchido pela argamassa a ensaiar, foi selado pela outra fracção do aparelho. Foi garantida a correcta acoplação do balde ao restante aparelho e foi criada pressão dentro do balde que continha a argamassa. Após ser criada essa pressão foi possível ler no aparelho a percentagem de vazios que continha a argamassa que estava dentro do balde.

Foram registados os valores obtidos e limpo o equipamento para receber outra argamassa.

3.5. EXECUÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES

Depois de concluídos os ensaios de espalhamento e teor de ar, arrancou-se com a execução dos provetes.

O primeiro passo foi assegurar que o molde metálico estava em condições para receber a argamassa, isto é, assegurar que todas as peças que constituíam o molde estavam bem encaixadas e

que não havia óleo descofrante em excesso. O óleo descofrante tinha como função permitir “descolar” o provete do molde quando este estivesse solidificado. Cada molde permitia a elaboração de três provetes de argamassas de dimensões 40x40x160 mm.

Já com o molde metálico devidamente preparado, fixou-se este ao compactador mecânico e preencheram-se, com argamassa, os três orifícios do molde até cerca de metade da sua capacidade. Ligou-se o compactador mecânico e compactou-se esta primeira camada com 20 pancadas concretizadas pela máquina.

Após a primeira compactação, preencheu-se com argamassa o restante espaço vazio dos orifícios do molde e, voltando a fazer uso do compactador mecânico, compactou-se a argamassa com mais 20 pancadas.

Com o molde metálico totalmente preenchido por argamassa, rasou-se a superfície do topo com movimento de serra executado por uma colher de pedreiro.

Para terminar, identificou-se o molde metálico, recorrendo a um lápis, para ser possível reconhecer o tipo de argamassa que este alojava e colocou-se o molde, com os respectivos provetes de argamassa fresca, num saco de polietileno e selou-se o saco o melhor possível de modo a não haver contacto com o ar exterior.

Durante 6 dias os moldes ficaram dentro dos sacos. Ao fim dos 6 dias procedeu-se à sua desmoldagem.

Retirou-se o molde metálico do saco de polietileno, aliviou-se o parafuso que conferia a fixação das peças do molde e, com a ajuda de um pequeno martelo, foi-se removendo cada uma das peças. Esta operação foi feita com muito cuidado, pois os provetes ainda estavam muito friáveis passados apenas 6 dias da sua amassadura.

À medida que os provetes se iam libertando do molde eram identificados de imediato, a lápis, numa das faces.

Depois de todos os provetes desmoldados e devidamente identificados, foram levados, em tabuleiros metálicos, para o laboratório de cura standard.

A identificação dos provetes também assumiu, neste trabalho, um papel fundamental, pois com seis argamassas diferenciadas, com duas condições de cura completamente distintas e a intenção de realizar ensaios aos 28, 90 e 180 dias, era fundamental que se soubesse identificar com exactidão cada um dos provetes, porque depois de desmoldados e com uma simples observação visual era impossível determinar a sua identidade.

Cada provete foi identificado com duas letras e dois números. A primeira letra era sempre um “D”, que indicava o primeiro nome do detentor do provete (neste caso referia-se a Duarte) e tinha como objectivo fazer com que os provetes não fossem trocados acidentalmente por outros utilizadores dos laboratórios do DEC-FCT/UNL que também estavam a realizar ensaios com provetes semelhantes.

A segunda letra referia-se ao tipo de cura. “S” no caso de o provete ter sido sujeito a uma cura no laboratório de cura standard, ou “M” no caso das condições de cura serem as marítimas, ocorridas na estação experimental do LNEC.

O primeiro número indica o tipo de argamassa que compõe o provete. Logicamente este número vai variar de 1 a 6, pois temos 6 tipos de argamassa, já referenciadas anteriormente.

Por fim, o segundo número, que varia de 1 a 9, aponta-nos a idade a que o provete foi ensaiado. Do número 1 ao 3 corresponde aos 28 dias, do 4 ao 6 aos 90 dias e do 7 ao 9 aos 180 dias. Através deste segundo número que identifica cada um dos provetes, podemos notar que para cada uma das três idades de cura foram ensaiados três provetes de cada uma das 6 argamassas, com o objectivo de obter resultados mais credíveis.

Terminando com um exemplo que complementa a explicação acima descrita: se estivermos perante o provete identificado com “DM35”, sabemos que este esteve em ambiente marítimo durante a sua cura, provem da argamassa tipo 3 (constituintes descritos anteriormente) e foi ensaiado aos 90 dias de cura.

3.6. CONDIÇÕES DE CURA

Um dos objectivos desta campanha era estudar o comportamento destas argamassa tendo em conta as suas condições de cura, por isso, foram tomados dois ambientes completamente distintos: cura marítima (cura M) e cura standard (cura S).

Antes de estarem sujeitos às respectivas curas, todos os provetes estiveram seis dias embalados em plástico no laboratório onde foram produzidos, de modo a ficarem com a solidez necessária para se proceder à remoção dos moldes que os confinavam.

3.6.1. CURA MARÍTIMA (CURA M)

Com muitos quilómetros de costa, Portugal, é um país onde grande parte das suas edificações estão perto do mar, como tal, testar os provetes produzidos neste tipo de cura faz todo o sentido. A Estação Experimental do LNEC situada no Cabo Raso, 6 quilómetros a oeste da cidade de Cascais,

permitiu avaliar o efeito das condições de exposição natural em ambiente fortemente marítimo. A aproximadamente 25 metros do mar, como comprova a figura 3.1, era expectável que os provetes fossem fortemente agredidos com os sais provenientes do mar e com as restantes acções climáticas típicas em ambientes exteriores.



Figura 3.1 – Ambiente de cura marítima

Os provetes foram colocados na vertical e, apenas nos seus topos, tinham uma protecção cerâmica que impedia o contacto directo com o ambiente exterior. Na base dos provetes, uma fina rede de plástico conferia uma ligeira sobreelevação dos mesmos. Todos os provetes ficaram afastados entre si sensivelmente à mesma distância. A verticalidade dos provetes era assegurada pela grelha metálica visível na figura 3.2. Esta minuciosa arrumação dos provetes tinha como objectivo simular as condições a que a argamassa fica exposta quando aplicada em situações práticas.

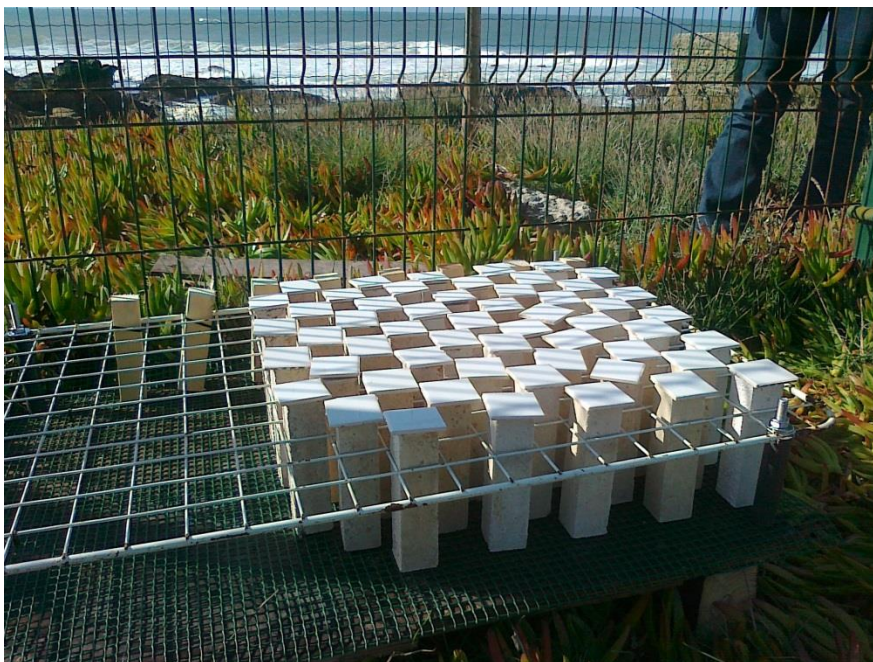


Figura 3.2 – Disposição dos provetes

Antes de serem colocados na Estação Experimental do LNEC, os provetes ficaram quatro dias depois de serem desmoldados na cura standard de modo a garantirem resistência mecânica para suportar o transporte até ao cabo Raso.

3.6.2. CURA STANDARD (CURA S)

Metade dos provetes permaneceram durante toda a sua cura no DEC-FCT/UNL, num laboratório adequado para o efeito onde a temperatura e a humidade relativa eram controladas mecanicamente. A temperatura rondava os $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e a humidade relativa os $65\pm 5\%$ como mostra a figura 3.3. Os valores de temperatura e humidade relativa estavam de acordo com a norma EN 1015-11.



Figura 3.3 – Condições no laboratório

No laboratório de cura standard, cura considerada de referência, os provetes foram acomodados horizontalmente nas prateleiras de uma estante metálica. Com o objectivo de otimizar a cura dos provetes houve a necessidade de expor todas as faces destes ao ar existente no laboratório, então, foram usadas umas pequenas calhas de plástico, visíveis na figura 3.4, que conferiam uma ligeira sobrelevação ao provete.



Figura 3.4 – Acomodação dos provetes no laboratório

3.7. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

3.7.1. PLANEAMENTO DOS ENSAIOS

Com o intuito de caracterizar as argamassas no estado endurecido, foram realizados ensaios aos provetes em três idades de cura: 28, 90 e 180 dias. Em cada uma das idades de cura foram ensaiados seis provetes de cada tipo de argamassa, três provenientes da cura marítima e outros três da cura standard. Este procedimento conduziu a que, em teoria, em cada ensaio realizado houvesse sempre três provetes que eram exactamente iguais, isto é, provinham do mesmo tipo de argamassa e tiveram condições de cura iguais. Com o decorrer dos ensaios, reparou-se, sem grande surpresa, que apesar de serem muito parecidos os três provetes não apresentavam exactamente os mesmos resultados quando submetidos aos ensaios, por isso, optou-se por trabalhar com os valores médios resultantes do ensaio de cada conjunto de três provetes. Desta forma trabalhou-se com valores provenientes de uma amostragem de cada uma das argamassas, o que foi mais vantajoso, pois para além dos resultados serem mais confiáveis, tivemos também o auxílio do desvio padrão que nos alerta para resultados discrepantes que podem estar por detrás de eventuais erros.

No que a ensaios diz respeito, a metodologia pouco variou. Seleccionou-se o lote de provetes a ser ensaiado aos 28 dias e arrancou-se com o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico (Ed). O ensaio seguinte consistiu em determinar a resistência do provete à tracção por flexão (Rt). Ao ser ensaiado à tracção por flexão, o provete partiu-se em dois, sendo uma das partes aproveitada para fazer o ensaio de resistência à compressão (Rc) e a outra parte para fazer o ensaio de absorção de água por capilaridade. Concluído o ensaio de absorção de água por capilaridade, teve início o ensaio de secagem, usando a mesma metade de provete.

Como resultado do ensaio de resistência à compressão (Rc), obteve-se a metade de provete partida em três. Com uma das partes (a base do provete) efectuou-se o ensaio de determinação da porosidade aberta (Pab), uma outra parte foi ensacada e transportada para o LNEC, onde foram preparadas amostras para serem posteriormente ensaiadas quimicamente, e o outro restante pedaço de provete foi seco em estufa a 50°C e guardado em saco de polietileno nos laboratórios do DEC-FCT/UNL.

Este procedimento foi repetido para os provetes com 90 e 180 dias de cura.

A *posteriori* foram realizados os ensaios de condutibilidade térmica e de resistência aos sulfatos.

3.7.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Este ensaio foi realizado com base na norma NP EN 14146:2006 [IPQ, 2006] e contou com grande colaboração da Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues e do Engenheiro Vítor Silva, pois o equipamento não era de fácil utilização, daí a experiência destes ter sido imprescindível.

A pesagem (em balança digital de precisão 0,001g) de cada um dos provetes deu início ao ensaio e, logo de seguida, colocaram-se os provetes, um a um, no equipamento “Zeus Resonance Meter” para serem feitas as leituras necessárias. Um dos topos do provete contactava com a fonte emissora e o outro topo com o receptor. De cada provete fizeram-se várias leituras resultantes não só, mas também, da alteração de posição do provete, obtendo assim mais que uma gama de valores.

Faz parte deste equipamento um programa de computador, onde foram inseridas as dimensões e a massa de cada provete, que nos deu valores do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) em MPa através da seguinte equação:

$$E_d = \frac{2 \times L \times f_0 \times \rho}{g \times 10^{-4}}$$

Onde:

E_d – Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]

L – Comprimento do provete [m]

f_0 – Frequência da ressonância longitudinal [Hz]

ρ – Massa volúmica do provete [N/m³]

g – aceleração gravitacional [=9,8 m/s²]

O módulo de elasticidade dinâmico é a inclinação da tangente à curva tensão-deformação relativa a esforços provocados por cargas com grande velocidade de aplicação. A sua determinação realizou-se através de equipamento que emite ultra-sons para o estabelecimento da frequência de ressonância longitudinal do provete de ensaio [FARIA et al., 2007], como tal foi necessário garantir que o teor em água dos provetes não fosse demasiado elevado, por isso os provetes que estavam na estação experimental do LNEC (cura marítima) foram trazidos, 24 horas antes de serem ensaiados, para o laboratório da cura standard para baixarem o teor em água a que a sua exposição os condicionara.

Este ensaio não danificou minimamente os provetes, ficando estes em condições para prosseguir com os ensaios que estavam estipulados.

3.7.3. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO POR FLEXÃO

Neste ensaio, realizado de acordo com a norma EN 1015-11:1999/A1:2006 [CEN, 2006], a tração foi imposta por flexão resultante da aplicação de forças em três pontos do provete.

O equipamento onde os provetes foram ensaiados, o “Zwick Z050”, aplicou uma carga pontual a meio do provete na face superior, com este na posição horizontal e apoiado em dois apoios fixos que, na face inferior, sustinham o provete. O “Zwick Z050” estava equipado com uma célula de carga de 2kN, a velocidade de aplicação da carga era de 0,2 mm/min e a distância entre os apoios fixos que sustinham o provete era de 10 cm. Foram escolhidas as faces mais lisas do provete para estarem em contacto com a célula de carga e com os apoios fixos, garantindo assim que as áreas das superfícies de contacto eram iguais de ensaio para ensaio e de provete para provete.

À medida que célula de carga ia exercendo força no provete, um programa de computador, parte integrante do equipamento, ia desenhando um gráfico que nos mostrava a força a que o provete ia estando sujeito ao longo do tempo. O ensaio chegava ao fim quando o provete atingia a rotura, pois era nesse instante que ficávamos a conhecer o valor da força máxima de tracção a que o provete foi sujeito. Assim já era possível determinar a resistência à tracção por flexão do provete usando a equação:

$$R_t = 1,5 \times \frac{F_t \times l}{b \times d^2} \times 10^3$$

Onde:

R_t – Resistência à tracção por flexão [MPa]

F_t – Carga de rotura de tracção por flexão [kN]

l – Distância entre os apoios fixos [neste caso: 100 mm]

b – Espessura do provete [neste caso: 40 mm]

d – Profundidade do provete [neste caso: 40 mm]

3.7.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de determinação da resistência à tracção por flexão, realizado de acordo com a norma EN 1015-11, conduziu-nos à rotura dos provetes, que implicou que os provetes ficassem partidos, sensivelmente, a meio. Foi numa dessas metades de cada um dos provetes que foi realizado o ensaio que determinou a resistência à compressão.

O equipamento utilizado foi o mesmo que se utilizou para o ensaio de resistência à tracção por flexão, o “Zwick Z050”, apenas com algumas adaptações. A célula de carga era de 50 kN e a velocidade de aplicação da carga era agora de 0,7 mm/min. Este aumento de carga e de velocidade de aplicação da mesma deveu-se ao facto de o provete ser muito mais resistente à compressão do que à tracção, logo ao estarmos a aplicar uma carga reduzida a uma velocidade baixa, conduziria, neste caso em que se testa a compressão, a um ensaio muito demorado, pois a carga que conduz à rotura do provete por compressão tem um valor elevado quando comparado com o valor da carga de rotura de tracção por flexão.

As metades de provete foram colocadas no centro de um molde metálico, que integrava o equipamento, de modo a que a compressão imposta tivesse sempre a mesma área a aplicação. Teve-se também o cuidado de expor as faces mais lisas de cada provete, ao contacto com o molde.

Tal como no ensaio de determinação de resistência à tracção por flexão, um programa de computador ia desenhando um gráfico que nos mostrava a força a que o provete ia estando sujeito ao longo do tempo. Mais uma vez, o ensaio chegava ao fim quando o provete atingia a rotura e quebrava. Nesse instante ficávamos a conhecer o valor da carga de rotura de compressão. Com este valor era possível calcular a resistência à compressão [MPa] dividindo a força máxima, F_c [N] pela área de aplicação da carga [mm²].

3.7.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Uma das duas metades (deu-se preferência à metade que apresentava a face da base do provete mais lisa) resultantes do ensaio de determinação da resistência à tracção por flexão foi usada no ensaio que determinou a absorção de água por capilaridade. O ensaio respeitou as normas EN 15801:2009 [CEN, 2009] e EN 1015-18:2002 [CEN, 2002].

Para garantir que o ensaio ia ser realizado com os provetes em condições de massa constante, estes permaneceram na estufa, a 60 °C, 48 horas antes de serem ensaiados.

O ensaio teve início com a pesagem dos provetes. À medida que estes iam sendo pesados iam ficando à temperatura ambiente, perdendo assim o calor que traziam da estufa.

Depois de pesados, os provetes foram envoltos em película aderente de polietileno, mas apenas nas suas faces laterais. Este procedimento garantiu que a absorção de água era feita apenas pela base do provete.

O próximo passo constou em resguardar a base do provete com uma gaze, que foi fixa ao provete com o auxílio de um elástico. A realização deste passo pretendia evitar possíveis perdas de massa do provete, isto é, ao libertar-se massa do provete pela base deste, essa massa seria sempre contabilizada nas pesagens, pois ia ficar retida na gaze que envolvia a base do provete.

Em simultâneo com a preparação dos provetes, prepararam-se duas caixas de polietileno onde os provetes viriam a ser colocados. Nas duas caixas, estanques, foram criadas condições de ambiente saturado graças à colocação de água nos fundos destas. Em cada uma das caixas colocou-se um tabuleiro metálico, perfeitamente nivelado por um nível de bolha, com uma rede fina de borracha esponjosa na base. Em cada um dos tabuleiros foi criado espelho de água de 5 mm acima da rede. Tentou manter-se sempre a altura de 5 mm de água nos tabuleiros ao longo de todo o ensaio recorrendo-se a monitorizações periódicas com o auxílio de uma régua graduada.

Com as caixas e os provetes devidamente preparados, voltou-se a pesar os provetes (agora envoltos em película aderente e com gaze a cobrir as bases) e foram-se distribuindo-os ordenadamente pelas duas caixas de forma a imergir as suas bases.

Foram efectuadas várias pesagens com intervalos de tempo diferenciados de modo a obter um gráfico que espelhasse convenientemente a curva de absorção de água de cada provete. Cada provete foi retirado da caixa para ser pesado. Antes de ser pousado no prato da balança, de precisão 0,001, cada provete foi cuidadosamente sacudido de modo a não pingar enquanto era transferido.

O ensaio terminou quando, num intervalo de 24 horas, a diferença de massa entre pesagens não era superior a 1%.

A elaboração da curva de absorção de água implica calcular a massa da quantidade de água absorvida pela seguinte equação:

$$m = \frac{m_i - m_0}{A}$$

Onde:

m – Massa da quantidade de água absorvida por unidade de superfície [kg/m^2]

m_i – Massa do provete ao fim do tempo t_i [kg]

m_0 – Massa do provete seco no início do ensaio (envolto em película aderente e com gaze a cobrir a base) [kg]

A – Área da secção do provete em contacto com a água ($0,04 \times 0,04$) [m^2]

O gráfico que mostra a curva de absorção de água tem a raiz quadrado do tempo (em raiz de minutos) em abcissas e a massa da quantidade de água absorvida em ordenadas. Como tínhamos sempre grupos de 3 provetes que eram feitos da mesma argamassa e tinham o mesmo tipo de cura, foram calculadas as médias de cada um desses grupos de provetes, de modo a obtermos um gráfico por cada grupo de provete igual. Em cada gráfico podemos definir o coeficiente de capilaridade (este parâmetro traduz a velocidade com que sucede a absorção da água por capilaridade – CC) da argamassa/cura em questão, através do declive do troço recto inicial da curva (passando ou não pela origem) e o total de água que a argamassa/cura absorve por capilaridade (função do volume médio de metade do provete original moldado), através do valor assintótico do gráfico (VA).

3.7.6. SECAGEM

O ensaio de secagem começou assim que acabou o ensaio de absorção de água por capilaridade. Nesta fase os provetes estavam saturados em água absorvida.

Este ensaio decorreu no laboratório do DEC-FCT/UNL usado para criar as condições de cura standard, onde a temperatura rondava os $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e a humidade relativa os $65 \pm 5\%$.

O ensaio seguiu as especificações da RILEM [RILEM TC 25-PEM, 1980].

O primeiro passo deste ensaio foi retirar a gaze que cobria a base dos provetes e pesá-los, numa balança de precisão 0,001g. Não foi retirada a película aderente com o intuito de não facilitar a secagem dos provetes pelas suas faces laterais.

Os provetes foram ordenados numa bancada de inox e foram sendo pesados diversas vezes, no primeiro dia de ensaio, de uma em uma hora, nos restantes dias de 24 em 24 horas, com o objectivo de se obter um gráfico onde a curva de secagem tivesse uma leitura esclarecida.

O ensaio terminou quando a massa dos provetes deixou de sofrer alterações significativas de pesagem para pesagem, querendo isto dizer que os provetes já não tinham mais água passível de sofrer secagem, ou seja, estavam em equilíbrio com as condições de humidade que o laboratório apresentava.

O tratamento de resultados constou no cálculo de teor em água (W_t) através da equação:

$$W_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Onde:

W_t – Teor em água [%]

m_i – Massa do provete no instante t_i [kg]

m_0 – Massa do provete seco [kg]

Calculado o valor do teor em água, já nos foi possível traçar a curva de secagem para cada argamassa/cura. A curva de secagem foi expressa num gráfico que tinha o teor em água em ordenadas e o tempo (expresso em horas) em abcissas. Com este gráfico foi possível determinar a taxa de secagem (TS), que consistiu em medir o declive do troço recto inicial da curva de secagem.

Outro parâmetro avaliado foi o índice de secagem, que nos apresentou a rapidez de secagem de cada argamassa. Recorrendo à equação desenvolvida por Brito (Brito, 2009), o índice de secagem calculou-se usando:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[(t_i - t_{i-1}) \times \left(\frac{w_{t_{i-1}} + w_{t_i}}{2} \right) \right]}{Q_{m\acute{a}x} \times t_f}$$

Onde:

IS – Índice de secagem

t_i – Instante de ensaio i [h]

t_f – Tempo final de ensaio [h]

w_{t_i} – Teor em água do provete no instante t_i [%]

$Q_{m\acute{a}x}$ – Teor em água máximo do provete (instante inicial do ensaio) [%]

3.7.7. POROSIDADE ABERTA

Este tipo de poros são condutores de material entre o interior e o exterior da estrutura, por exemplo, a humidade, pode ser conduzida para o interior da estrutura e dissolver a fase sólida. Poros conectados à superfície são mais prejudiciais à resistência mecânica, visto que muitas fracturas têm início em falhas estruturais superficiais, tais como este tipo de poros (GAMEIRO, 2012).

Compreendida a importância que este ensaio acarretava e, respeitando a norma de ensaio NP EN 1936 [IPQ, 2008], seleccionaram-se as metades de topo liso resultantes do ensaio de compressão e secaram-se, a 60°C, numa estufa durante 24 horas.

Passadas as 24 horas de secagem em estufa, os fragmentos de provete, completamente secos, foram pesados numa balança de precisão 0,001g à medida que iam arrefecendo.

Com o objectivo de não haver perdas de massa, envolveram-se os provetes numa meia de *nylon*, de modo a que caso existissem desprendimentos de massa, estes seriam contabilizados nas pesagens, pois a meia de *nylon* impedia qualquer saída de massa para o exterior.

O ensaio prosseguiu com uma nova pesagem dos provetes, agora envoltos pela meia, e subsequente disposição destes dentro de um exsicador.

Com todos os provetes dentro do exsicador e arrumados de forma a poderem ser identificados facilmente, selou-se o exsicador e ligou-se este a uma bomba de vácuo que, durante um período de 24 horas, retirou todo o ar do exsicador e, consequentemente, de dentro dos provetes até ser atingida a pressão de 20 Torr (aproximadamente 0,0266644 bar).

Ao fim de 24 horas foi aberta uma torneira que colocou água no exsicador e inundou os poros dos provetes. Esta operação teve a duração de 15 minutos e foi feita cuidadosamente para não haver entradas de ar no exsicador que continuava selado e em vácuo.

Os provetes permaneceram imersos em água durante 48 horas. Ao fim desse tempo desligou-se a bomba de vácuo e abriram-se orifícios do exsicador que permitiram a entrada de ar no mesmo.

Os provetes permaneceram mais 24 horas imersos em água, mas agora à pressão ambiente, depois disso foram retirados do exsicador e pesados de duas maneiras: efectuou-se uma pesagem hidrostática, em que se pesaram os provetes totalmente imersos em água, com o auxílio de um dispositivo acoplado à secção inferior de uma balança de precisão 0,001g, como ilustra a figura 3.5; a outra pesagem, efectuada no prato superior da mesma balança, consistiu numa pesagem saturada, onde apenas se sacudi o excesso de água do provete, de modo a que este não pingasse.



Figura 3.5 – Pesagem hidrostática

Concluído o ensaio, estávamos em condições de determinar o valor da porosidade aberta através da equação:

$$P_{ab} = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100$$

Onde:

P_{ab} – Porosidade aberta [%]

m_1 – Massa da amostra seca [g]

m_2 – Massa hidrostática da amostra [g]

m_3 – Massa saturada da amostra [g]

As pesagens efectuadas permitiram também calcular o valor da massa volúmica aparente pela equação:

$$MVA = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times 10^3$$

Onde:

MVA – Massa volúmica aparente [kg/m^3]

m_1 – Massa da amostra seca [g]

m_2 – Massa hidrostática da amostra [g]

m_3 – Massa saturada da amostra [g]

3.7.8. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Para este ensaio foram utilizadas as metades de provete usadas nos ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem. Estas metades permaneceram vários dias no laboratório de cura standard, onde a temperatura rondava os $20\pm 3^\circ\text{C}$ e a humidade relativa os $65\pm 5\%$, antes de serem ensaiados. O local escolhido para a realização do ensaio também foi este laboratório.

Neste ensaio foi utilizado num aparelho denominado por “ISOMET Model 2104” e o procedimento adoptado para a realização do ensaio foi o recomendado pelo próprio aparelho, sofrendo apenas algumas alterações: devido ao tamanho relativamente reduzido dos provetes, foi impossível fazer com que o sensor do aparelho ficasse 100% em contacto com o material a ensaiar.

O procedimento que fomos obrigados a adoptar, conduziu a resultados que apenas foram usados para comparação, isto é, não obtivemos resultados que nos permitissem calcular um valor característico de cada argamassa, mas sim valores que permitiram fazer somente uma comparação entre as diferentes argamassas. O valor que o aparelho nos forneceu é o coeficiente de condutibilidade térmica, assim, ao ensaiarmos os diferentes provetes, pudemos aferir a facilidade com que cada tipo de argamassa/cura se deixa atravessar pelo calor.

O ensaio foi de fácil concretização, bastou colocar o provete sobre uma placa de XPS e colocar o sensor do aparelho em cima do provete de modo a abranger a máxima área do sensor, seguidamente ligou-se o aparelho e, aproximadamente 10 minutos depois, registou-se o valor do coeficiente de condutibilidade térmica que este nos forneceu. Repetiu-se este procedimento para uma outra face do mesmo provete e caso os dois valores registados fossem muito díspares, mais precisamente com diferenças superiores a 5%, realizou-se uma terceira leitura.

Foi importante ter colocado o provete sobre uma placa de XPS impedindo assim a transmissão de calor para a bancada de inox do laboratório. O XPS é um material capaz de desempenhar essa função devido a ter um coeficiente de condutibilidade térmica muito baixo.

3.7.9. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS

O ensaio que pretendeu avaliar a resistência das argamassas aos sulfatos decorreu num laboratório do DEC-FCT/UNL e teve com base a norma NP EN 12370:2001, [IPQ, 2002] de modo a ser possível comparar os resultados obtidos nesta dissertação com outras de outros colegas.

Este ensaio também não contou com um procedimento muito elaborado. A actividade teve início com a secagem dos provetes a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ numa estufa durante 24 horas. Apenas foram ensaiados os provetes, que tinham sido usados anteriormente nos ensaios de capilaridade e secagem, com idades de cura de 28 e 90 dias.

Enquanto os provetes estavam na estufa, a fim de atingirem massa constante, preparou-se uma solução não saturada de sulfato de sódio de anidro a 3,09%, através da adição de 329 gramas de sulfato de sódio (Na_2SO_4) a 10 litros de água corrente. Com o decorrer do ensaio foi sendo necessário preparar mais da mesma solução. Prepararam-se também três caixas de plástico para imergir os provetes na solução de sulfato de sódio de anidro. As três caixas continham no seu fundo uma rede de polietileno de modo a garantir que ao acomodarem os provetes as suas bases também estariam em contacto com a solução. Sempre que possível estas caixas permaneciam fechadas por uma tampa também de plástico.

No dia seguinte, já passadas 24 horas, retiraram-se os provetes da estufa, deixando-se estes arrefecer ao ar cerca de 20 minutos. Depois de arrefecidos, os provetes foram pesados numa balança de precisão de 0,001g.

Já com a solução de sulfato de sódio distribuída pelas três caixas de plástico, colocaram-se os provetes dentro das caixas, como mostra a figura 3.6, de modo a ficarem totalmente imersos na solução. O espaçamento entre provetes foi de aproximadamente 2 cm e entre os provetes e as paredes da caixa foi de 1 cm.



Figura 3.6 – Provets imersos em solução de sulfato de sódio

Os provetes repousaram nestas condições durante 2 horas, depois foram retirados das caixas, foi-lhes removido o excesso de solução de sulfato de sódio de modo a não pingarem durante o seu transporte e regressaram à estufa.

No dia seguinte à mesma hora, o procedimento foi repetido, dando assim origem a mais um ciclo de imersão, secagem e pesagem. Foram completados 19 ciclos, repetidos diariamente com excepção dos fins-de-semana.

Durante este ensaio houve provetes de argamassa que não resistiram até ao fim dos 19 ciclos, tendo ficado extremamente friáveis e fracturados, por isso ao logo do ensaio foram sendo registados os comportamentos dos provetes menos resistentes.

4. EXPOSIÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo exibe todos os resultados obtidos nos ensaios realizados e explicados no capítulo anterior. Com o propósito de simplificar a organização da dissertação a ordem de exposição e análise dos diferentes resultados será a mesma que foi adotada no capítulo anterior. A análise de resultados será auxiliada por elementos facilitadores da sua leitura. Todos os resultados individuais obtidos com cada provete são apresentados no anexo.

4.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

O ensaio de espalhamento e o ensaio de determinação do teor de ar pretendiam caracterizar a argamassa no estado fresco, avaliando assim a sua consistência e, consequentemente, a sua trabalhabilidade em práticas reais na obra.

4.1.1. CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO

No quadro 4.1 estão expressos os traços ponderais das argamassas, as razões água/cal aérea e água/ligante. No mesmo quadro são apresentados os valores obtidos no ensaio de consistência por espalhamento para cada uma das argamassas.

Quadro 4.1 – Traços em massa, relações água/ligante e valores de espalhamento das argamassas

	Traços em Massa							
Argamassa	L:Mk:S			(L+Mk):S		Razão A/L	Razão A/Lig.	Espalhamento (mm)
	L	Mk	S	L+Mk	S		(L+Mk)	Média
L2	1	0,0	7,7	1	7,7	0,6	1,0	168,0
L2_Mk30	1	0,4	11,1	1	7,7	1,0	1,0	167,0
L2_Mk50	1	1,0	15,5	1	7,7	1,3	1,0	166,0
L3	1	0,0	11,6	1	11,6	0,9	1,0	167,3
L3_Mk30	1	0,4	16,6	1	11,6	1,3	1,0	163,8
L3_Mk50	1	1,0	23,2	1	11,6	1,9	1,0	162,0

Tendo em conta o quadro 4.1 verifica-se que os valores obtidos para o espalhamento das argamassas são satisfatórios, mais precisamente, conferem uma trabalhabilidade adequada às argamassas, apesar de serem ligeiramente superiores aos parâmetros estabelecidos nas normas do projecto em que esta dissertação se insere.

É de reparar ainda que o espalhamento sofre um ligeiro decréscimo à medida que a percentagem de metacaulino aumenta na argamassa e tendo também em conta que a razão água/ligante é a mesma para todas as argamassas, podemos deduzir que a presença de metacaulino aumenta a consistência das argamassas.

4.1.2. TEOR DE AR

Com este ensaio, tal como já era esperado, não há muitas considerações a fazer. Podemos verificar que as percentagens de vazios, expressas no quadro 4.2, nas diferentes argamassas são aproximadamente as previstas para uma argamassa. Alguns valores mais díspares, como no caso da argamassa L3 da 1ª amassadura, podem ser aceitáveis, uma vez que este ensaio, apesar de ter um procedimento teoricamente fácil, é casualmente fustigado por erros devido a uma incorrecta utilização do equipamento designado por “Air Content Tester” da marca alemã *Formtest*.

Quadro 4.2 – Percentagem de vazios nas diferentes argamassas

Argamassa	Percentagem de Vazios (%)	
	1ª Amassadura	2ª Amassadura
L2	12	10
L2_Mk30	9	8
L2_Mk50	9	8,5
L3	15	9
L3_Mk30	9	10
L3_Mk50	10	9,5

4.2. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Com as argamassas no estado endurecido, foi possível estudar a evolução das suas propriedades ao longo do tempo de cura e averiguar a influência que o tipo de cura, neste caso marítima (M) e standard (S), teve nessas mesmas propriedades.

4.2.1. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

O módulo de elasticidade dinâmico avalia a deformabilidade de uma argamassa, por isso, a escolha da gama de valores correcta que este ensaio nos ofereceu, foi feita com base nos valores resultantes do ensaio de resistência à tracção por flexão e resistência à compressão. Verifica-se então que, tendencialmente, os maiores valores do módulo de elasticidade apresentam posteriormente os maiores valores de resistências mecânicas. Resumindo, um valor alto do módulo de elasticidade dinâmico diz-nos que estamos perante uma argamassa com baixa deformabilidade.

Este ensaio forneceu várias gamas de valores para cada um dos provetes. Depois de escolhermos a gama que parecia mais correcta (a escolha da gama mais correcta foi feita com o auxílio dos valores de R_c e R_t , pois os valores de MED têm o mesmo andamento que estes) foi calculado um valor médio para o módulo de elasticidade por provete e, seguidamente, por argamassa. Esses valores médios obtidos para cada argamassa podem ser consultados no quadro 4.3, acompanhados pelo respectivo desvio padrão.

Quadro 4.3 – Módulo de elasticidade dinâmico

Argamassa	MED [MPa]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	2837	149	3443	103	6912	4510
L2_Mk30_S	1408	144	1558	73	6152	527
L2_Mk50_S	7917	300	7786	1404	7837	1015
L3_S	3507	227	4050	62	5367	280
L3_Mk30_S	1970	357	2406	354	2104	435
L3_Mk50_S	1123	25	2919	57	4352	2112
L2_M	3272	186	3969	53	5909	716
L2_Mk30_M	1624	72	4364	350	2790	1386
L2_Mk50_M	3049	67	3991	14	3651	2037
L3_M	3836	86	4412	35	5810	451
L3_Mk30_M	2047	128	1709	100	1194	162
L3_Mk50_M	3616	120	2562	1726	4562	680

Com o objectivo de facilitar a análise, o quadro 4.3 apresenta-se sob a forma de um gráfico, referenciado como figura 4.4.

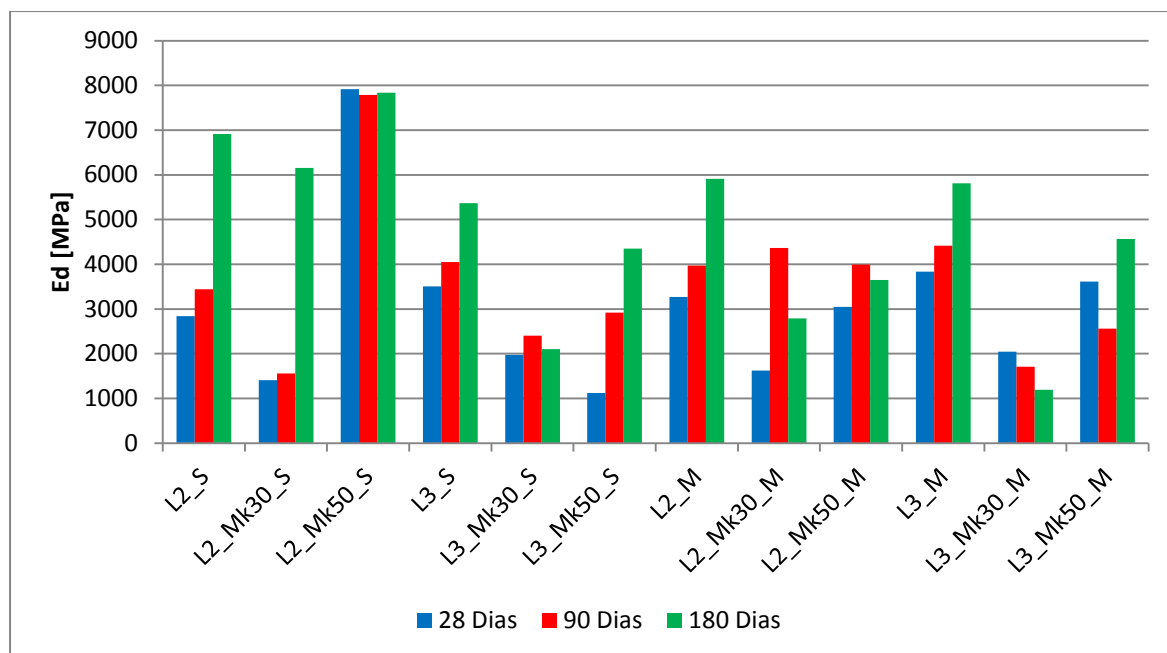


Figura 4.1 – Módulo de elasticidade dinâmico

Analisando os resultados, nota-se que para mais de metade das argamassas estudadas, o módulo de elasticidade dinâmico vai aumentando consoante a idade de cura, isso é bem claro para as argamassas sem metacaulino na sua composição. Nas argamassas que têm metacaulino como constituinte é um pouco difícil estabelecer um padrão, pois os resultados obtidos não demonstram qualquer tendência com o evoluir da idade de cura da argamassa.

A fim de se elaborar uma análise comparativa entre os dois diferentes ambientes de cura, a standard e a marítima, foram acrescentadas a este ponto as figuras 4.2, 4.3 e 4.4.

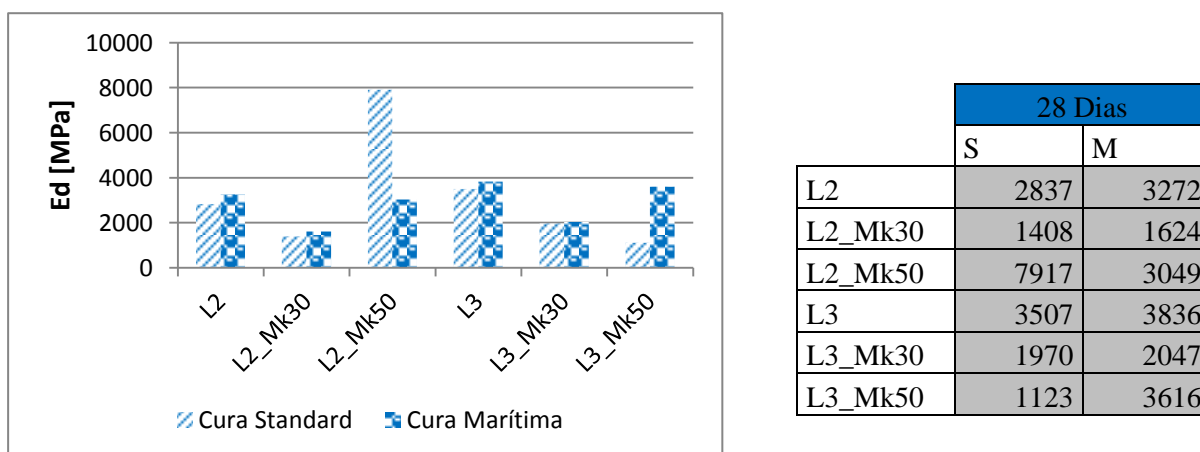


Figura 4.2 – MED 28 dias

Na figura 4.2 pode-se comparar os dois diferentes tipos de cura, a 28 dias, de cada uma das argamassas. Verifica-se que nesta idade de cura as argamassas estiveram expostas a um ambiente marítimo, apresentam valores de módulo de elasticidade dinâmico, superiores às argamassas onde o

processo de cura se deu em ambiente de cura standard. A exceção é a argamassa L2_Mk50, onde o valor do módulo de elasticidade dinâmico da argamassa de cura marítima é muito inferior quando comparado com a mesma argamassa de cura standard. De notar ainda que, independentemente do ambiente de cura, as argamassas sem metacaulino revelam menos deformabilidade, com exceção feita, mais uma vez, à argamassa L2_Mk50 de cura standard.

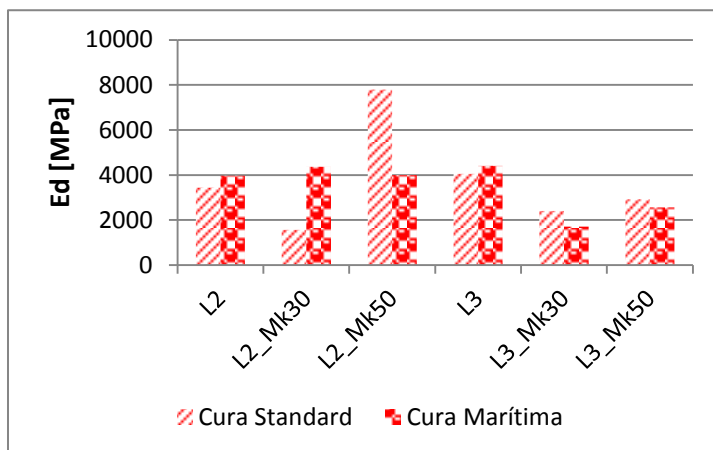


Figura 4.3 – MED 90 dias

Na figura 4.3 tem-se o mesmo tipo de análise que na figura 4.2, mas agora para uma idade de cura de 90 dias. Tal como na figura anterior, salta à vista o elevado módulo de elasticidade da argamassa L2_Mk50 quando submetida a uma cura standard. Nas argamassas sem metacaulino e na argamassa L2_Mk30 o ambiente de cura marítima propícia um aumento do módulo de elasticidade dinâmico. O contrário acontece nas argamassas de traço [1;3] com presença de metacaulino na sua composição.

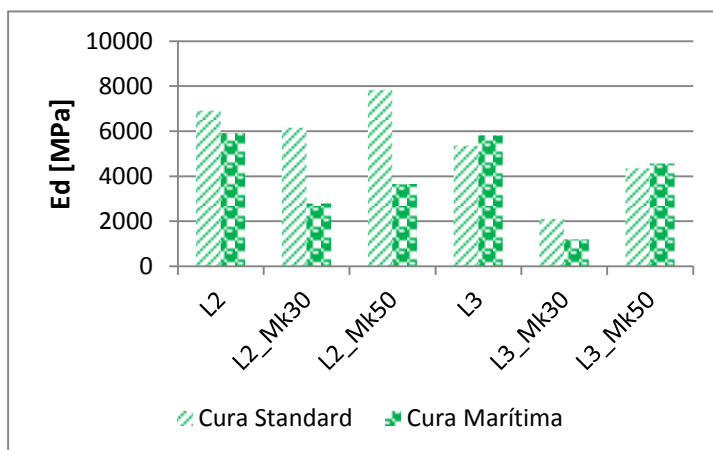


Figura 4.4 – MED 180 dias

Na figura 4.4 tem-se o mesmo tipo de análise que nas figuras 4.2 e 4.3, para 180 dias de cura. Nesta idade de cura assiste-se a um módulo de elasticidade dinâmico superior para as argamassas de cura standard, de traço [1;2] e na argamassa L3_Mk30, quando comparadas com as argamassas equivalentes de cura marítima. Constata-se também que, independentemente do ambiente de cura, as

argamassas sem metacaulino revelam maiores módulos de elasticidade dinâmico, com excepção feita à argamassa L2_Mk50 de cura standard, do que argamassas com adição de metacaulino em substituição do ligante.

Em situações práticas, uma argamassa para aplicação não deve ser mais resistente que o suporte onde vai ser aplicada. Então, o que se pretende idealmente em obra, é obter uma argamassa de baixa deformabilidade, mas sem esta ser menos deformável que o suporte que a recebe, que, por exemplo, pode ser uma parede de alvenaria de tijolo.

4.2.2. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO POR FLEXÃO E À COMPRESSÃO

No quadro 4.4 estão apresentados os valores médios da resistência à tracção por flexão de todas as argamassas nas diferentes idades e ambientes de cura. É também possível consultar o desvio padrão de cada uma dessas médias e a partir daí aferir sobre a semelhança dos provetes, isto é, um desvio padrão baixo indica que os três provetes ensaiados de cada argamassa tiveram comportamentos muito semelhantes, logo um valor de desvio padrão alto significa que os três provetes, apesar de serem constituídos por argamassas teoricamente iguais, quando ensaiados comportaram-se de maneira diferente. Esta diferença de comportamento em situação de ensaio, pode dever-se ao facto de durante o tempo de cura terem ocorrido anomalias causadas por elementos externos a este trabalho, erros de procedimento durante a realização do ensaio, trocas acidentais de provetes, etc. ainda que se tenham tomado todas as medidas para que estes problemas não ocorressem, acho que para uma correcta análise de resultados estas hipóteses não devem ser totalmente omitidas.

Quadro 4.4 – Resistência à tracção por flexão

Argamassa	Rt [MPa]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	0,33	0,02	0,36	0,04	0,36	0,05
L2_Mk30_S	0,23	0,01	0,28	0,04	0,27	0,04
L2_Mk50_S	0,57	0,08	0,43	0,05	0,39	0,06
L3_S	0,36	0,05	0,42	0,02	0,44	0,04
L3_Mk30_S	0,05	0,01	0,06	0,01	0,05	0,03
L3_Mk50_S	0,12	0,01	0,10	0,01	0,24	0,14
L2_M	0,32	0,03	0,43	0,03	0,43	0,06
L2_Mk30_M	0,31	0,02	0,21	0,00	0,15	0,01
L2_Mk50_M	0,41	0,05	0,21	0,11	0,28	0,13
L3_M	0,28	0,15	0,45	0,04	0,33	0,21
L3_Mk30_M	0,06	0,00	0,05	0,01	0,02	0,02
L3_Mk50_M	0,19	0,12	0,22	0,02	0,21	0,03

A figura 4.5 corresponde à representação gráfica do quadro 4.4 a fim de facilitar a análise do mesmo. Focando a idade de cura das argamassas, verifica-se que é difícil encontrar um padrão que relacione a idade de cura da argamassa com a sua resistência à tracção por flexão, pois os resultados obtidos são muito variados. O destaque deste gráfico vai para a fraca resistência à tração das argamassas de curas standard e marítima, de traços [1;3] e com 30% de metacaulino. Esta percentagem de metacaulino revelou-se a mais desfavorável neste ensaio. Já o facto de o traço [1;3] apresentar menos resistência que o traço [1;2], não causa grande surpresa, pois, como o próprio traço indica, a quantidade de ligante no traço [1;3] é inferior à do traço [1;2].

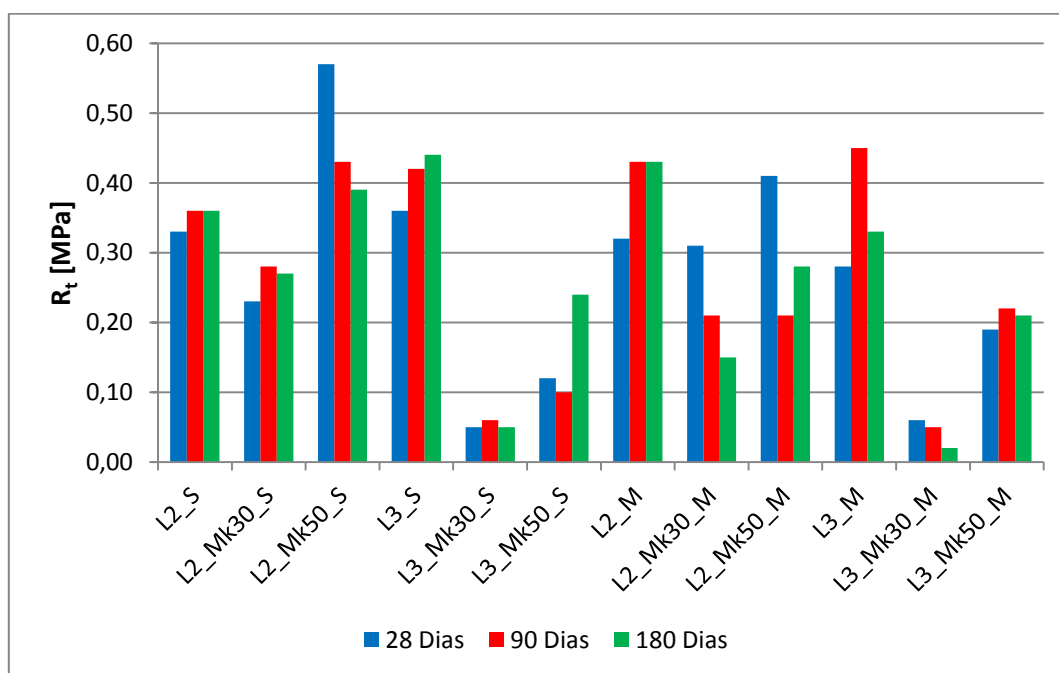


Figura 4.5 – Resistência à tracção por flexão

Na figura 4.6 pode-se comparar os dois diferentes tipos de cura, a 28 dias, de cada uma das argamassas. Verifica-se que nesta idade de cura a substituição da cal aérea por metacaulino, nas argamassas de traço [1;3], conduz a um decréscimo da R_t . Em contrapartida, na argamassa de traço [1;2], a substituição do ligante por 50% de metacaulino aumentou os valores da R_t em ambas as curas.

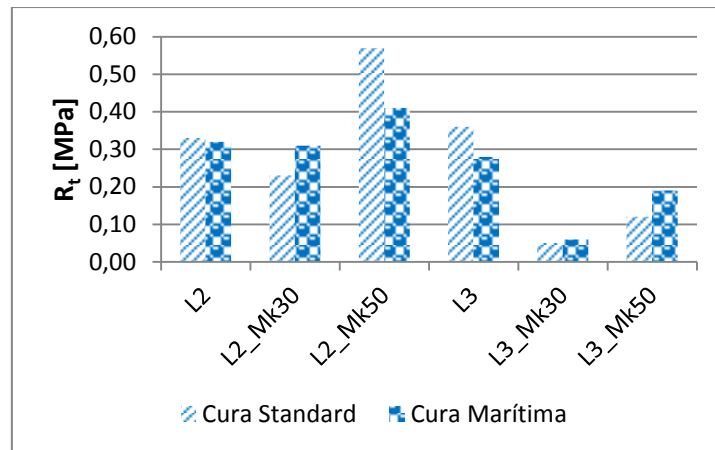


Figura 4.6 – Resistência à tracção por flexão aos 28 dias

Na figura 4.7 tem-se o mesmo tipo de análise que na figura 4.6, mas agora para uma idade de cura de 90 dias. É possível verificar que na argamassa L2_Mk50 a cura marítima apresenta um valor de R_t de aproximadamente metade do valor de R_t para a cura standard, já na argamassa L3_Mk50 passa-se exactamente o contrário.

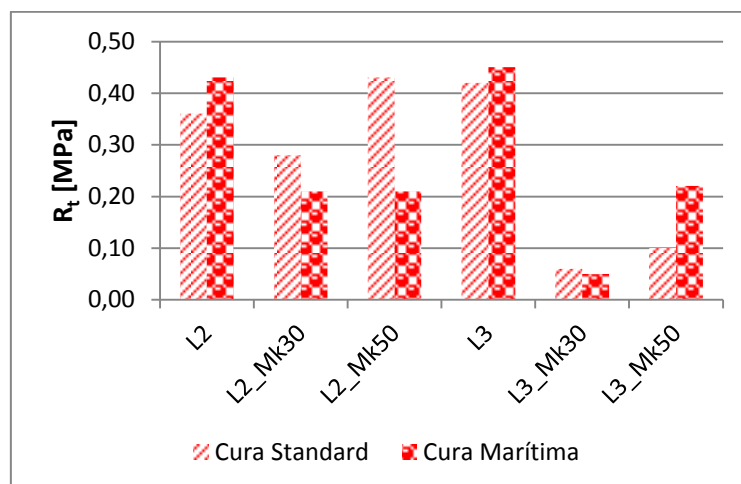


Figura 4.7 – Resistência à tracção por flexão aos 90 dias

Na figura 4.8 tem-se o mesmo tipo de análise que nas figuras 4.6 e 4.7, para 180 dias de cura. Mais uma vez se averigua que, para o traço [1;3], a substituição da cal aérea por metacaulino conduz à redução da R_t . Nas argamassas de traço [1;2], o metacaulino também não provoca aumentos da R_t , principalmente em ambientes marítimos.

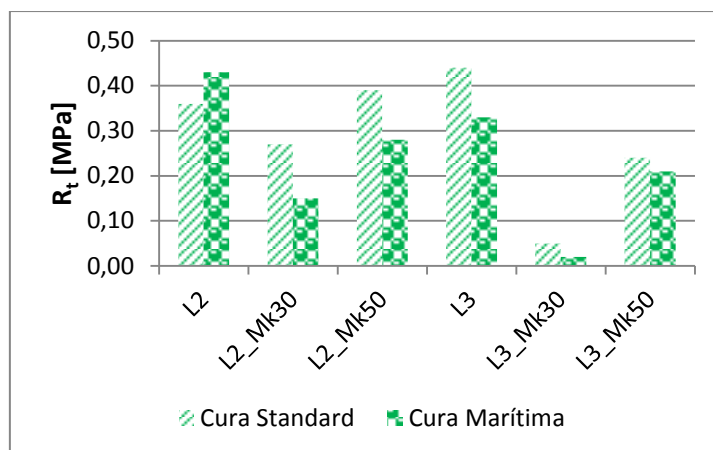


Figura 4.8 – Resistência à tracção por flexão aos 180 dias

No quadro 4.5 estão apresentados os valores médios da resistência à compressão de todas as argamassas nas diferentes idades e ambientes de cura. É também possível consultar o desvio padrão de cada uma dessas médias e a partir daí aferir sobre a semelhança dos provetes, tal como aconteceu no capítulo anterior.

Quadro 4.5 – Resistência à compressão

Argamassa	Rc [MPa]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	0,45	0,02	0,64	0,07	0,71	0,08
L2_Mk30_S	1,76	0,22	1,94	0,23	1,81	0,17
L2_Mk50_S	2,90	0,20	2,01	0,49	1,63	0,53
L3_S	0,59	0,05	2,70	2,59	0,68	0,11
L3_Mk30_S	0,40	0,11	0,45	0,22	0,39	0,11
L3_Mk50_S	0,75	0,02	0,49	0,00	0,90	0,35
L2_M	0,53	0,03	0,79	0,06	0,89	0,15
L2_Mk30_M	1,83	0,26	1,13	0,26	0,88	0,06
L2_Mk50_M	2,52	0,18	1,24	0,47	1,48	0,48
L3_M	0,41	0,23	0,70	0,18	0,91	0,04
L3_Mk30_M	0,40	0,15	0,31	0,09	0,20	0,02
L3_Mk50_M	0,89	0,29	0,93	0,10	0,89	0,26

A figura 4.9 corresponde à representação gráfica do quadro 4.5 a fim de facilitar a análise do mesmo. Apenas nas argamassas L2_S, L2_M e L3_M é possível verificar que a resistência à compressão vai aumentando com o aumento do tempo de cura, para todos os outros casos isso não se verifica, acontecendo mesmo, em algumas argamassas, grandes diferenças do valor máximo de resistência à compressão nas diferentes idades de cura. Um outro ponto a destacar é o aumento

significativo do valor da resistência à compressão nas argamassas de traço [1;2], independentemente do ambiente de cura, em que há substituição da cal aérea por metacaulino, por outro lado, nas argamassas de traço [1;3], a presença de metacaulino não traz mudanças muito relevantes.

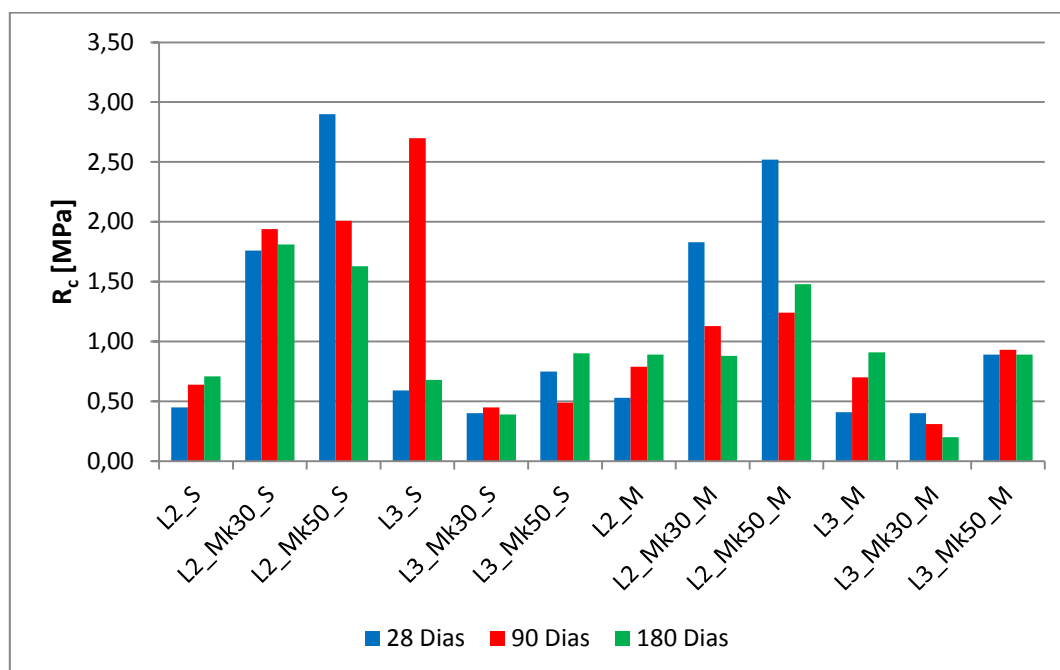


Figura 4.9 – Resistência à compressão

Na figura 4.10 pode-se comparar os dois diferentes tipos de cura, a 28 dias, de cada uma das argamassas. Verifica-se que nesta idade de cura, o ambiente onde decorreu a mesma pouco interfere nos valores de resistência à compressão. Como já foi analisado acima, a presença de metacaulino nas argamassas com traço [1;2], conduz a significativos aumentos do valor de R_c .

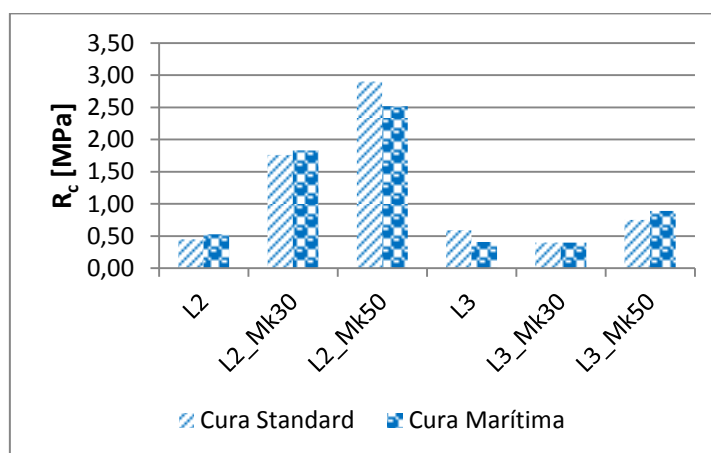


Figura 4.10 – Resistência à compressão aos 28 dias

Na figura 4.11 tem-se o mesmo tipo de análise que na figura 4.10, mas agora para uma idade de cura de 90 dias. É de destacar o efeito provocado pelo ambiente de cura na argamassa L3, onde se

nota uma acentuada diferença de resistências à compressão. Mais uma vez se destacam as argamassas do traço [1;2] com metacaulino, em comparação com a argamassa L2, pelo seu valor de R_c superior.

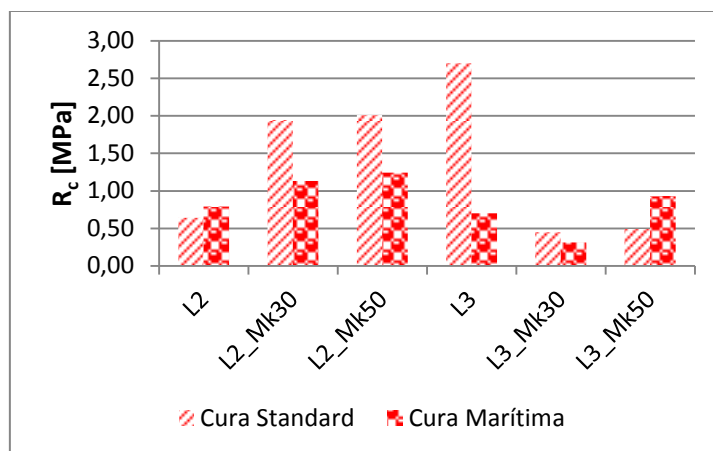


Figura 4.11 – Resistência à compressão aos 90 dias

Na figura 4.12 tem-se o mesmo tipo de análise que nas figuras 4.10 e 4.11, para 180 dias de cura. Para esta idade de cura verifica-se que o ambiente de cura não provoca grandes variações nos valores da R_c , excepto nas argamassas onde está presente uma percentagem de 30% de metacaulino. Nestas argamassas, a cura em ambiente marítimo registou valores de R_c de aproximadamente metade dos valores registados na cura standard. Observa-se ainda que os valores de R_c , nas argamassas que não têm presença de metacaulino, são superiores no ambiente de cura marítimo, enquanto que todas as argamassas que o contêm apresentam valores de R_c superiores para o ambiente de cura standard.

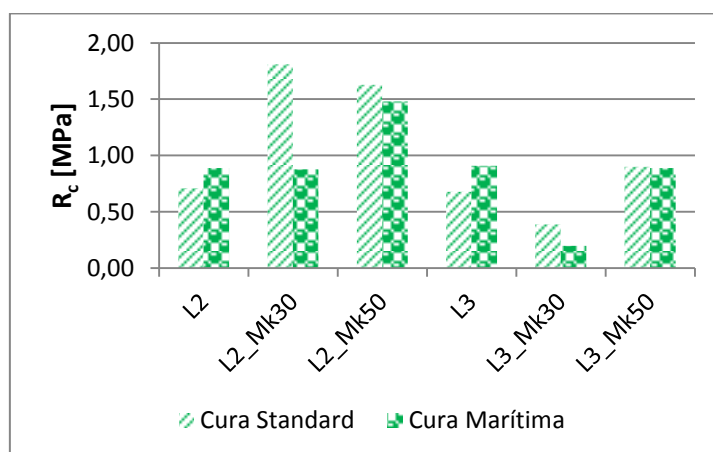


Figura 4.12 – Resistência à compressão aos 180 dias

De um modo geral, observa-se que há uma proporcionalidade entre os valores de R_t e R_c , sendo estes, tal como esperado, de diferentes ordens de grandeza. Como é de conhecimento geral para

indivíduos ligados à engenharia civil, as argamassas apresentam uma resistência à compressão muito superior à resistência à tracção e os ensaios realizados, obviamente, comprovaram isso, obtendo, em média, valores de R_c quatro vezes superiores aos valores de R_t .

4.2.3. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A realização deste ensaio permitiu aferir uma característica importante das argamassas: a sua capacidade para absorver água. Com este ensaio, obteve-se resultados que podem fornecer o valor da velocidade com que sucede a absorção por capilaridade (coeficiente de capilaridade – CC) e o total de água que a argamassa absorve (valor assintótico – VA).

Nos quadros 4.6 e 4.7 estão expressos os valores dos coeficientes de capilaridade (CC) e dos valores assintóticos (VA), respectivamente, de cada uma das argamassas, ambientes e idades de cura. Estes valores médios fazem-se acompanhar do respectivo desvio padrão.

Logo de seguida a cada um destes quadros, está a respectiva representação gráfica, enunciada pelas figuras 4.13 e 4.14.

Quadro 4.6 – Coeficientes de capilaridade

Argamassa	CC [kg/m ² /min ^{0,5}]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	1,423	0,49	1,171	0,48	1,068	1,95
L2_Mk30_S	2,300	1,27	1,766	0,13	2,019	0,49
L2_Mk50_S	1,404	0,97	1,229	0,23	1,463	1,44
L3_S	1,096	0,71	0,952	0,63	1,029	0,32
L3_Mk30_S	1,818	1,06	1,204	1,10	1,696	0,74
L3_Mk50_S	2,033	0,72	1,732	0,92	1,775	2,64
L2_M	1,179	0,82	1,297	0,27	1,284	0,43
L2_Mk30_M	1,865	1,16	2,070	0,74	2,066	0,45
L2_Mk50_M	1,537	0,59	1,597	0,63	1,537	1,50
L3_M	1,021	0,48	0,960	0,63	0,933	1,95
L3_Mk30_M	1,501	0,41	1,654	1,04	1,763	0,77
L3_Mk50_M	1,939	1,84	1,762	1,42	1,743	1,12

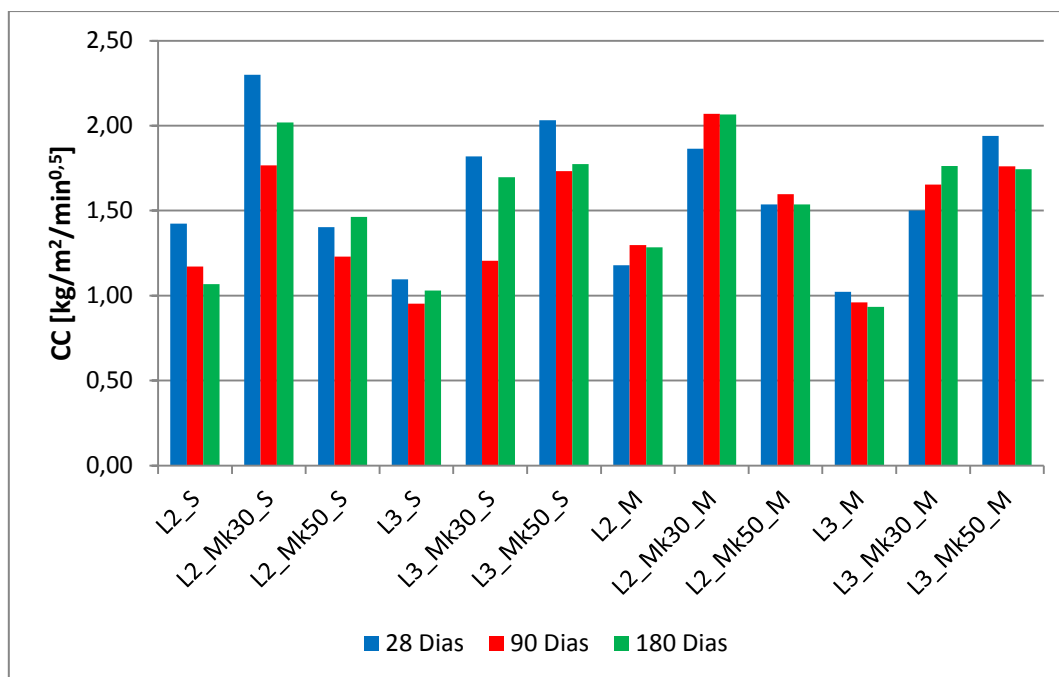


Figura 4.13 – Coeficientes de capilaridade

Quadro 4.7 – Valores assintóticos

Argamassa	VA [kg/m²]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	19,035	0,19	19,051	0,99	19,191	0,30
L2_Mk30_S	26,578	0,88	26,992	0,68	26,064	0,73
L2_Mk50_S	27,554	0,81	27,092	1,43	27,767	1,33
L3_S	16,960	0,31	18,176	0,89	17,389	0,28
L3_Mk30_S	25,425	0,33	25,638	1,56	25,801	1,49
L3_Mk50_S	26,094	0,68	26,453	1,00	26,487	2,25
L2_M	17,566	1,02	19,815	0,08	21,021	1,33
L2_Mk30_M	26,193	1,72	27,611	0,17	27,611	1,53
L2_Mk50_M	26,911	1,09	27,110	0,50	28,830	1,05
L3_M	18,055	1,11	17,232	1,26	18,307	0,13
L3_Mk30_M	25,946	0,29	25,940	0,99	25,338	0,18
L3_Mk50_M	27,017	1,09	26,600	2,80	26,615	1,30

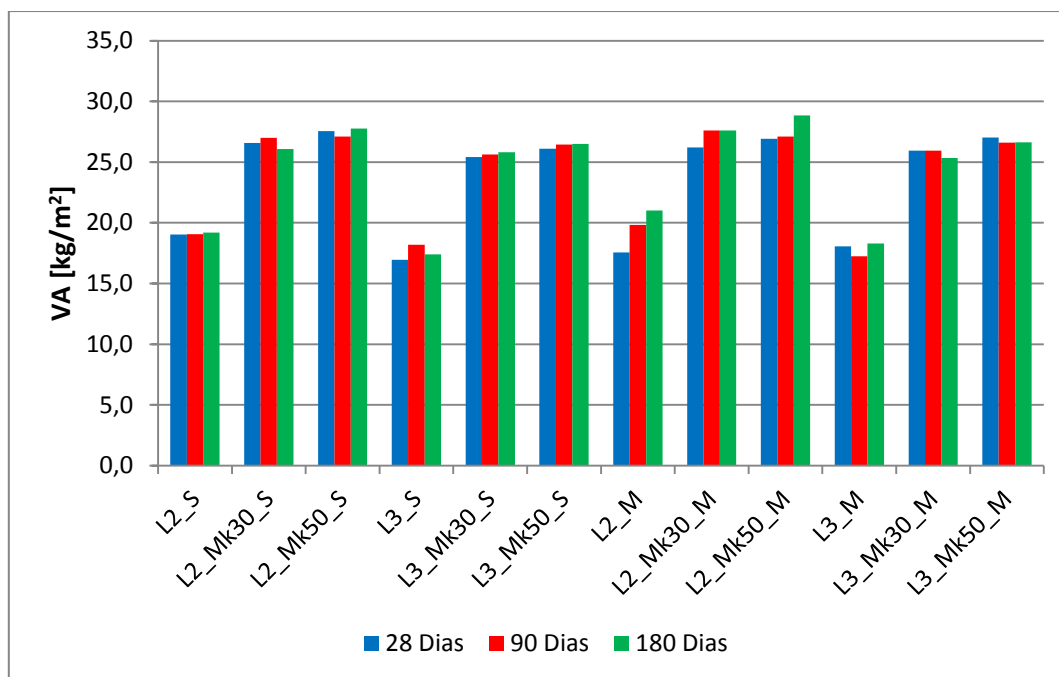


Figura 4.14 – Valores assintóticos

Como é visível através da análise dos gráfico enunciados pelas figuras 4.13 e 4.14, o traço da argamassa assim como o seu ambiente de cura, interferem muito pouco com a velocidade de absorção de água e com a quantidade total de água absorvida.

Quanto à idade de cura, analisando argamassa por argamassa, constata-se que este parâmetro também não apresenta grande expressividade, principalmente nos valores assintóticos das argamassas.

O destaque desta análise vai para a presença de metacaulino nas argamassas. Nas figuras 4.13 e 4.14 é flagrante que as argamassas que contêm metacaulino apresentam os seus valores do coeficiente de capilaridade e do valor assintótico mais elevados, comparativamente à mesma argamassa em que o ligante não foi substituído por metacaulino. Esta análise não abona a favor do metacaulino, uma vez que indica que as argamassas com a presença do mesmo apresentam uma maior velocidade de absorção de água assim como uma maior quantidade total de água absorvida, o que, em obra, regra geral, não é o que se pretende ao elaborar uma argamassa para aplicações práticas.

Nas figuras 4.15, 4.16 e 4.17 estão representados gráficos do traçado das curvas de absorção de água para as idades de cura de 28, 90 e 180 dias, respectivamente. Para facilitar a leitura dos gráficos, as argamassas estão separadas por ambiente de cura, para além da idade.

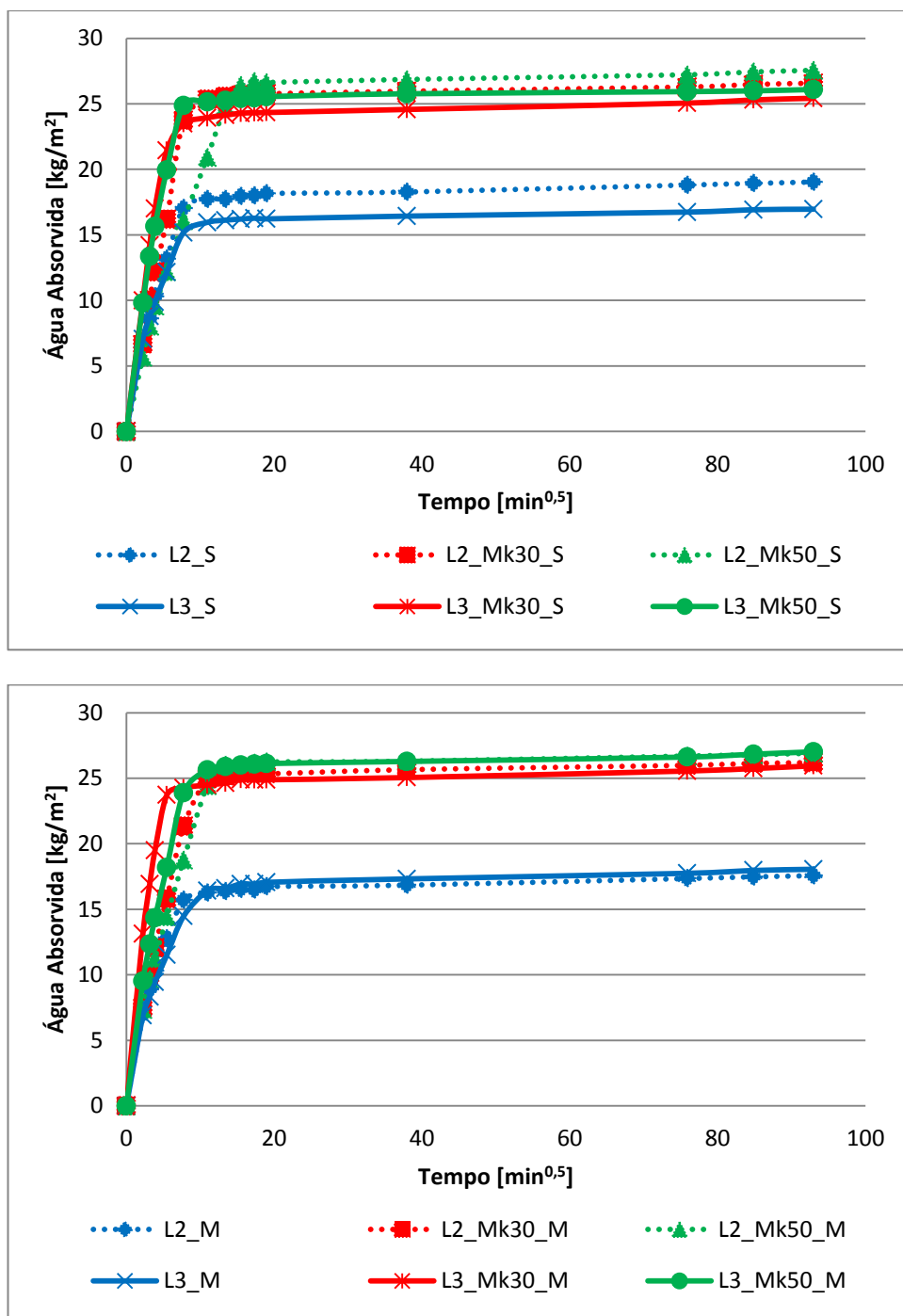


Figura 4.15 – Curvas de absorção de água aos 28 dias

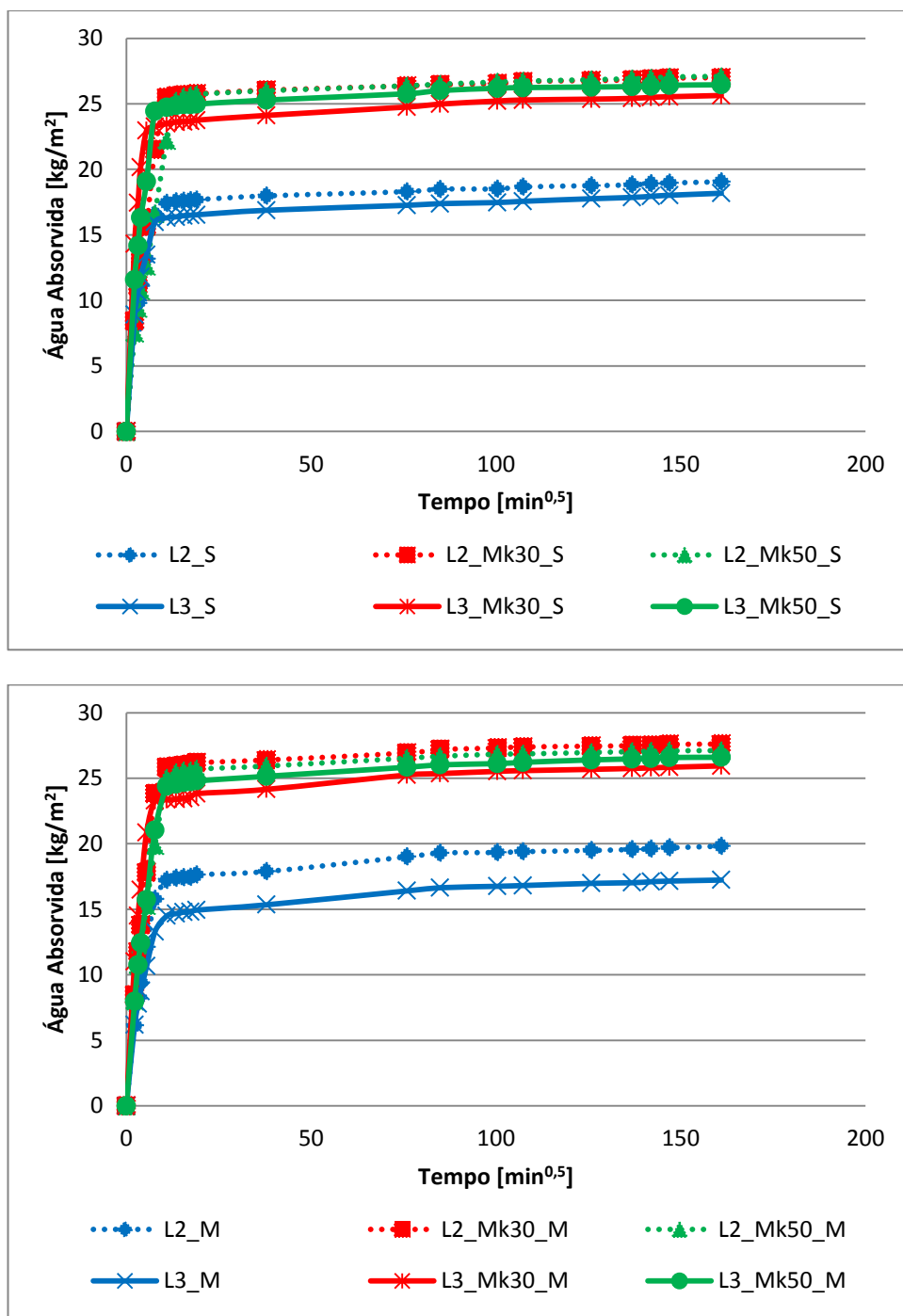


Figura 4.16 – Curvas de absorção de água aos 90 dias

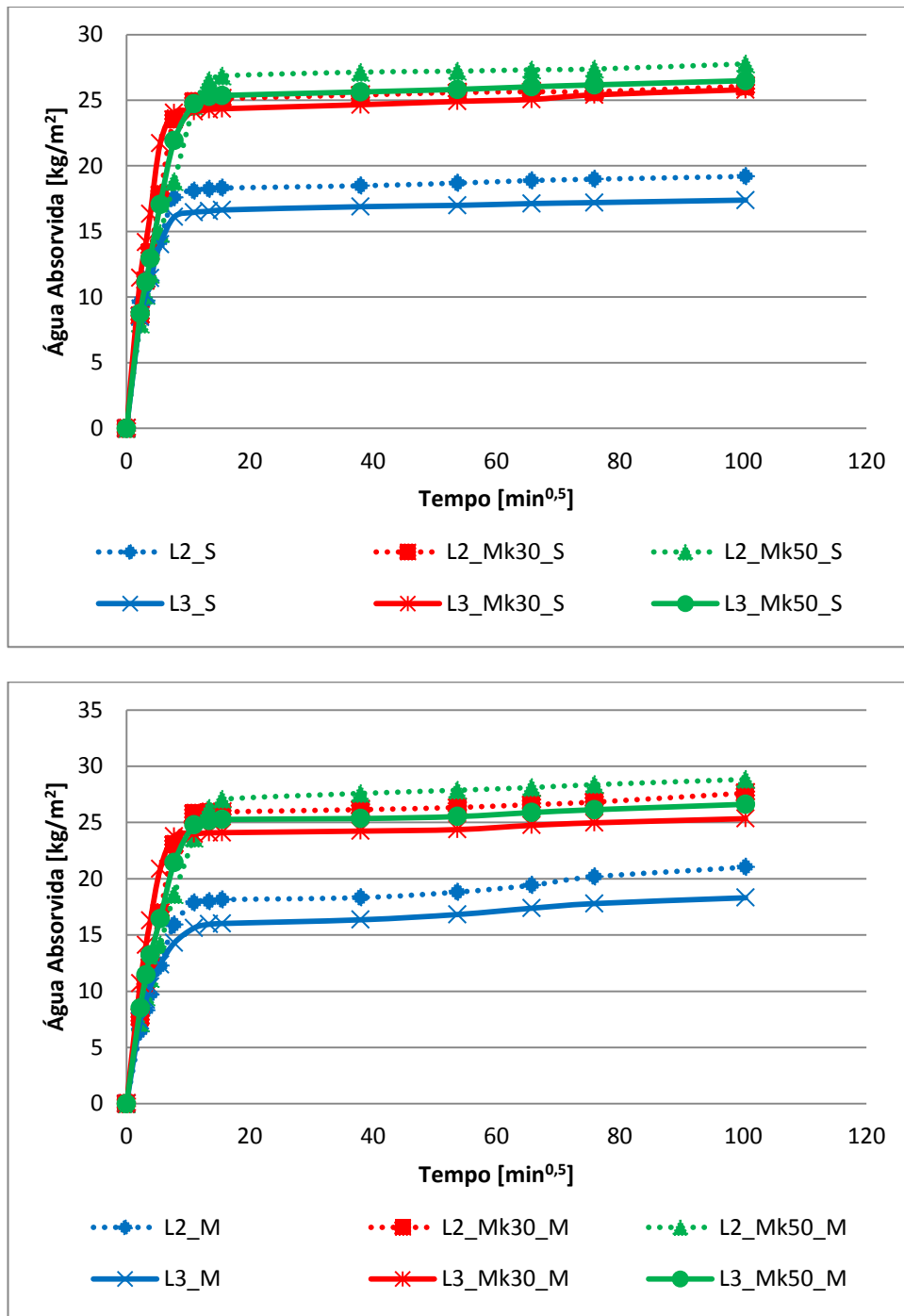


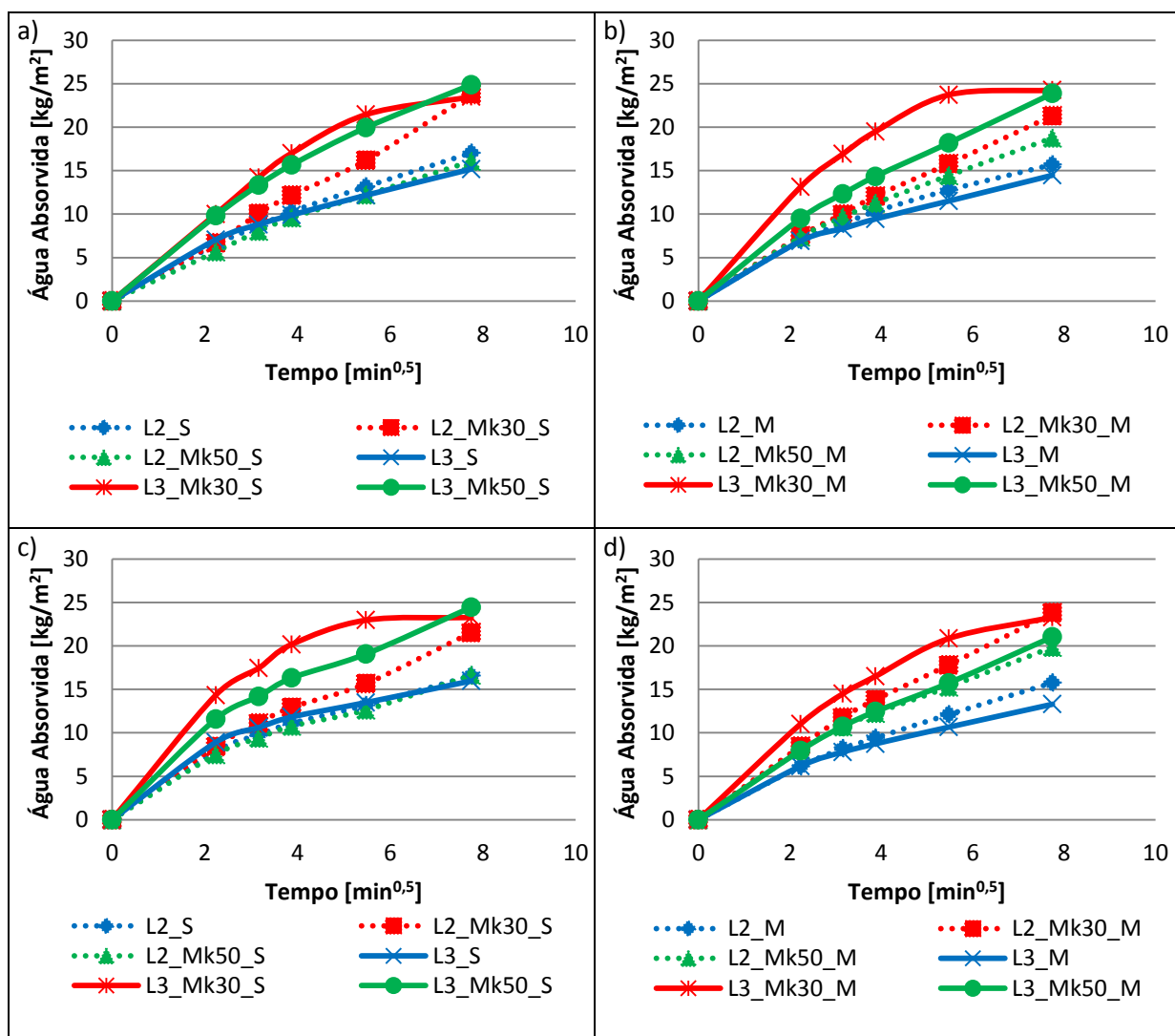
Figura 4.17 – Curvas de absorção de água aos 180 dias

Nas figuras 4.15, 4.16 e 4.17 é visível que o traçado das curvas de absorção de água não varia muito consoante o ambiente de cura a que a argamassa foi exposta. Observando todas estas curvas, o destaque vai para as curvas de absorção de água das argamassas que não contêm metacaulino na sua composição. Como é constatável todas as argamassas onde não houve substituição do ligante por metacaulino conduzem a quantidades de água absorvidas inferiores às argamassas em que a única diferença é a presença de metacaulino em detrimento do ligante. Como tal, também é possível

confirmar graficamente que as curvas de absorção de água de argamassas sem metacaulino conduzem a valores assintóticos mais baixo que argamassas com metacaulino.

Quanto à quantidade de metacaulino presente nas argamassas, neste caso 30% ou 50%, tal não conduz a discrepâncias dignas de análise.

A figura 4.18 é interessante na medida em que permite avaliar o coeficiente de capilaridade de cada argamassa, pois trata-se de uma representação gráfica das curvas de absorção de água, mas agora só para o instante inicial, instante esse em que o declive da curva é o valor do coeficiente de capilaridade, logo a figura 4.18 permite comparar as diferentes evoluções de velocidade de absorção de água.



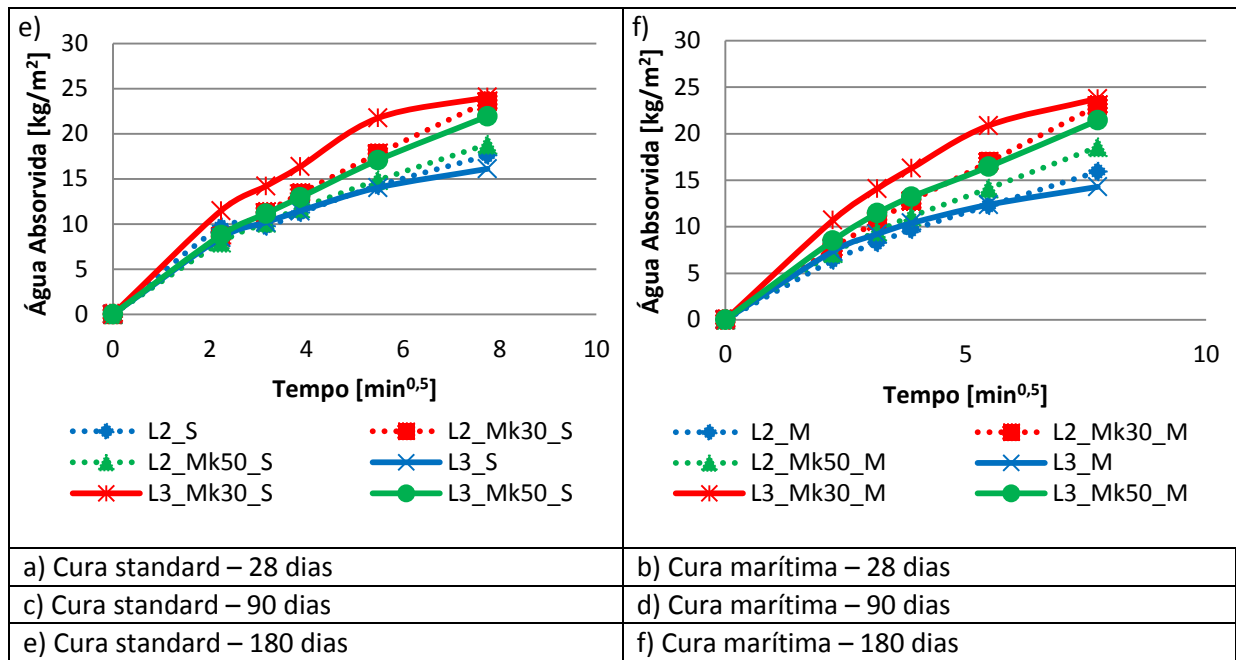


Figura 4.18 – Curvas de absorção de água para o instante inicial

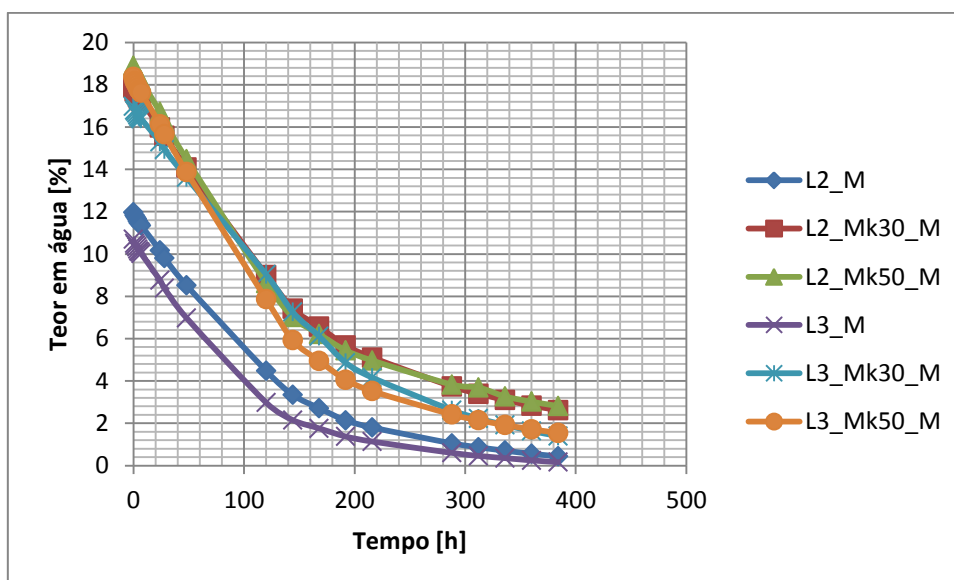
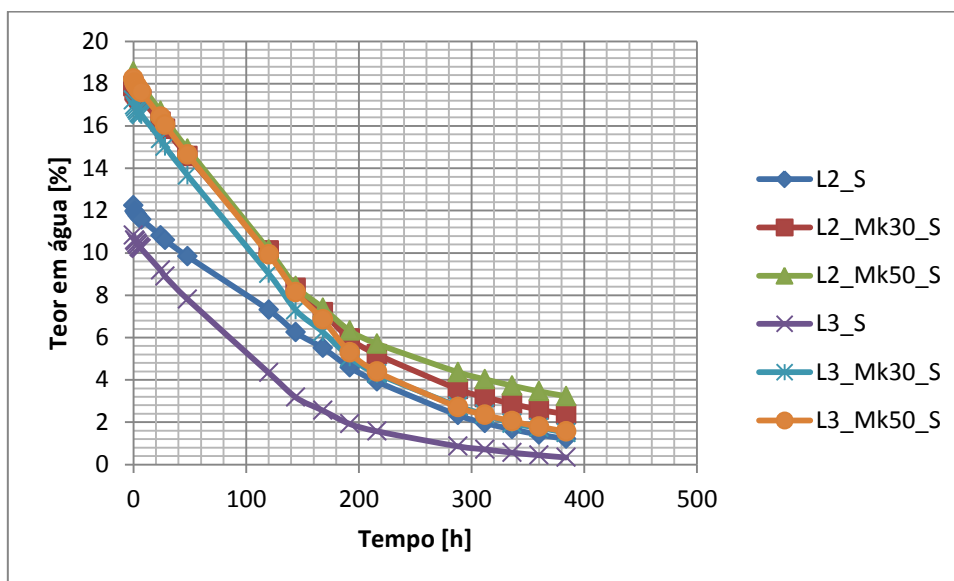
Mais uma vez se confirma que o ambiente de cura pouco interesse tem para a análise do coeficiente de capilaridade. Argamassas sem metacaulino são as que têm coeficientes de capilaridade mais baixo, logo nos gráficos da figura 4.18 são as curvas que expressam um declive menos acentuado.

Merecedor de reparo é o andamento da curva de absorção de água da argamassa L3_Mk30. Apresentando o declive mais acentuado de todos, esta argamassa é tida como a que absorve água mais depressa, independentemente do ambiente de cura, o que torna pouco favorável a sua aplicação numa situação prática de obra.

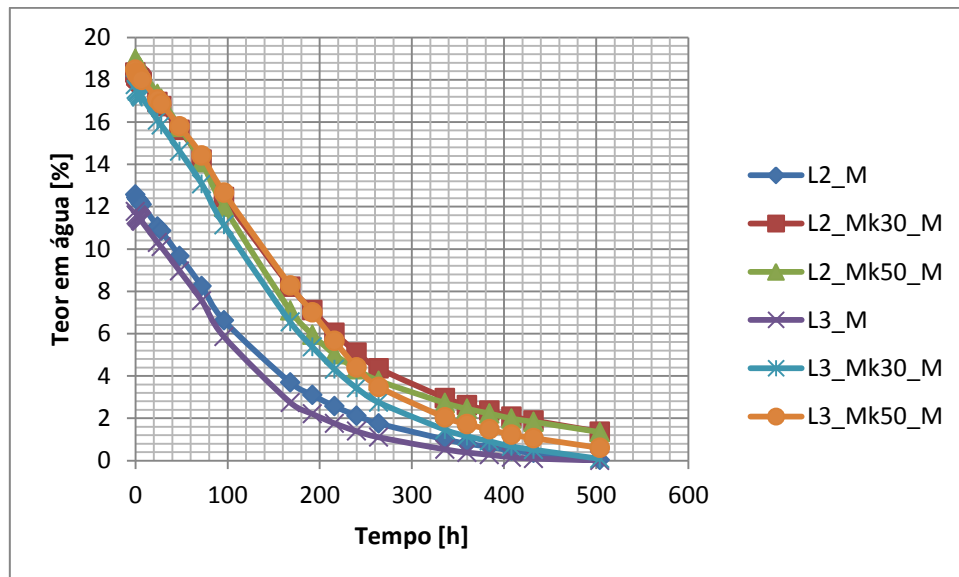
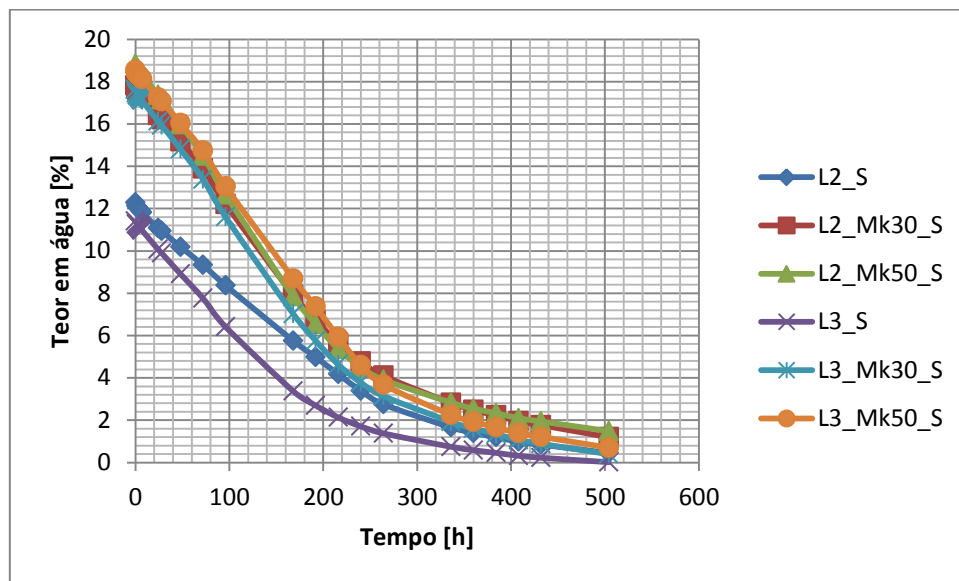
4.2.4. SECAGEM

Finalizado o ensaio de secagem, o primeiro passo do tratamento de resultados constou em calcular o teor em água de cada provete ao longo do tempo e calcular valores médios desse teor que correspondam a cada uma das argamassas. Tendo assim o teor em água de cada uma das argamassas ao logo do tempo em que decorreu o ensaio, desenharam-se as respectivas curvas de secagem para as diferentes argamassas, tempos de cura e ambientes de cura. Os gráficos expressos na figura 4.19 permitem fazer uma correcta e simples interpretação dos resultados obtidos.

a)



b)



c)

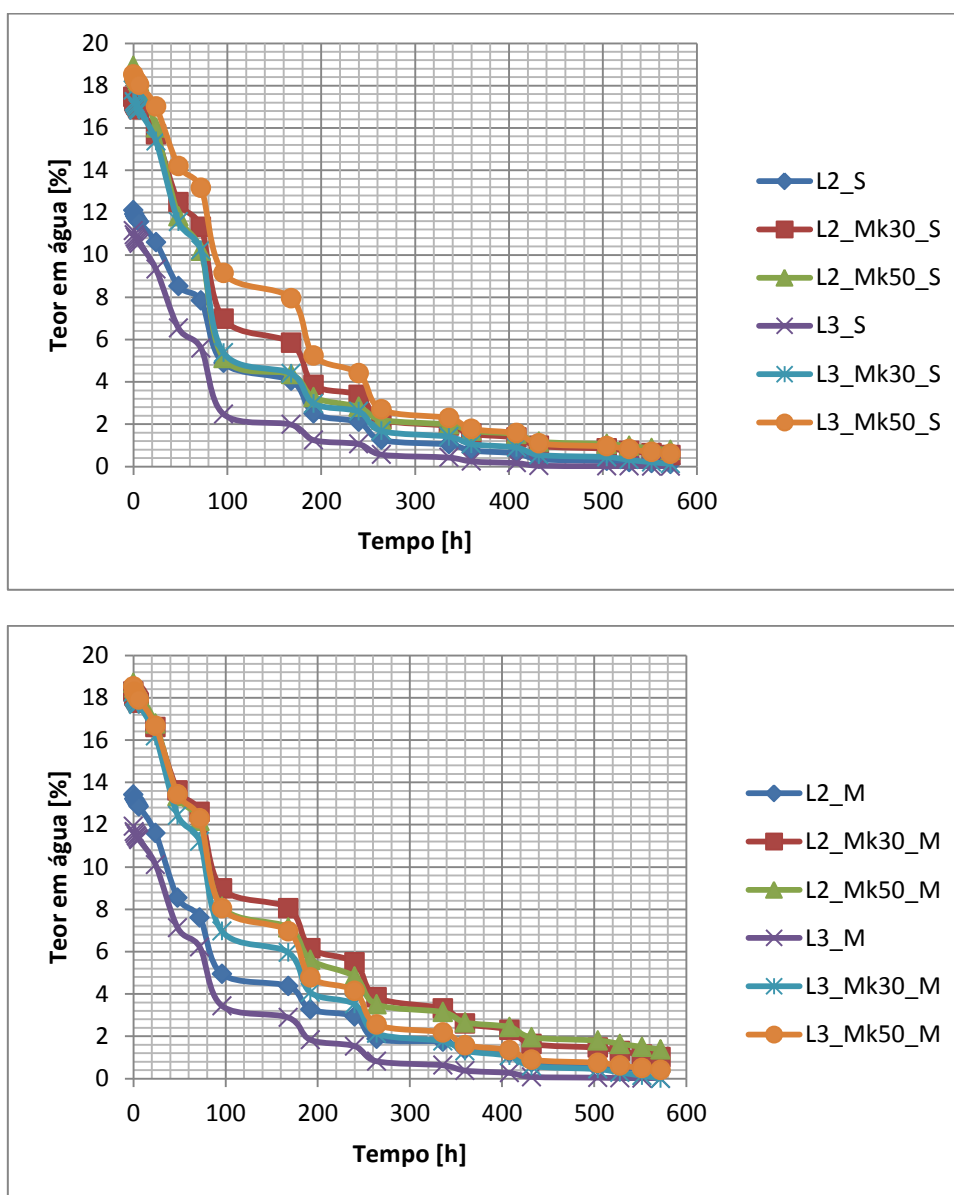


Figura 4.19 – Curvas de secagem das argamassas com idades de cura de a) 28 dias, b) 90 dias e c) 180 dias

Analisando a figura 4.19 é possível verificar que nas argamassas onde o metacaulino está presente o tempo de secagem é mais lento, independentemente do ambiente e da idade de cura. De um modo geral as argamassas sem metacaulino apresentam tempos de secagem mais rápidos, principalmente a argamassa de traço [1;3] que em todos os casos é a argamassa com um tempo de secagem mais rápido.

Nos gráficos das curvas de secagem das argamassas com 180 dias de cura, nota-se que as referidas curvas não estão tão bem definidas como nos outros gráficos da mesma figura. Este traçado mais impreciso das curvas de secagem das argamassas com 180 dias de cura deve-se ao facto de nos instantes iniciais do ensaio, isto é, nas primeiras 48 horas de ensaio, não terem sido efectuadas leituras

suficientes de modo a que as referidas curvas tivessem o aspecto das curvas de secagem das argamassas com 28 e 90 dias de cura. No entanto, a falta de uma ou duas leituras nos instantes iniciais do ensaio não impossibilita a correcta análise dos gráficos.

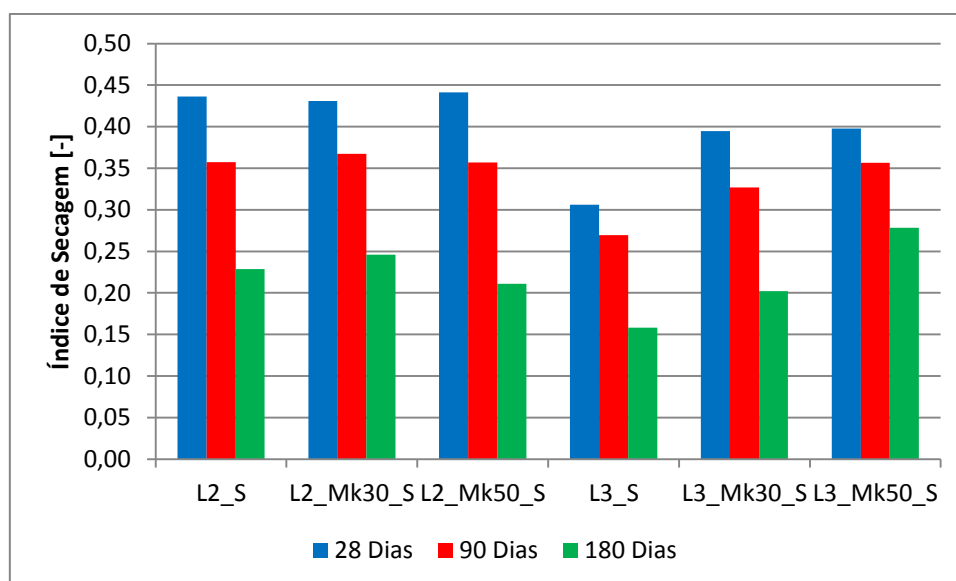
Outro parâmetro merecedor de discussão nesta análise de resultados foi o índice de secagem. Este parâmetro permite aferir a facilidade de secagem das diferentes argamassas, isto é, traduz a evolução da secagem global. Como é óbvio, em casos reais o que se pretende obter são argamassas em que a secagem seja fácil, logo as argamassas que apresentem os menores valores de índice de secagem são as mais recomendadas em obra. O contrário acontece com a taxa de secagem, que consiste no declive do troço recto inicial das curvas de secagem expressas na figura 4.19. Em situações práticas são preferidas argamassas com valores maiores de taxa de secagem, pois isso dá-nos em obra argamassas com maiores velocidades de secagem inicial.

No quadro 4.8 estão expressos os índices de secagem das diferentes argamassas. Seguidamente a figura 4.20 apresenta o quadro em forma de gráfico a fim de facilitar a leitura e permitir fazer comparações.

Quadro 4.8– Valores médios e respectivos desvios padrão do índice de secagem das diferentes argamassas

Argamassa	Índice de Secagem					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
L2_S	0,44	0,04	0,36	0,01	0,23	0,04
L2_Mk30_S	0,43	0,02	0,37	0,02	0,25	0,04
L2_Mk50_S	0,44	0,03	0,36	0,02	0,21	0,02
L3_S	0,31	0,04	0,27	0,02	0,16	0,01
L3_Mk30_S	0,39	0,03	0,33	0,01	0,20	0,02
L3_Mk50_S	0,40	0,02	0,36	0,02	0,28	0,03
L2_M	0,30	0,02	0,27	0,01	0,24	0,04
L2_Mk30_M	0,42	0,04	0,37	0,02	0,31	0,03
L2_Mk50_M	0,40	0,02	0,34	0,02	0,29	0,01
L3_M	0,26	0,01	0,24	0,01	0,18	0,01
L3_Mk30_M	0,39	0,01	0,30	0,00	0,23	0,01
L3_Mk50_M	0,35	0,03	0,35	0,01	0,26	0,06

a)



b)

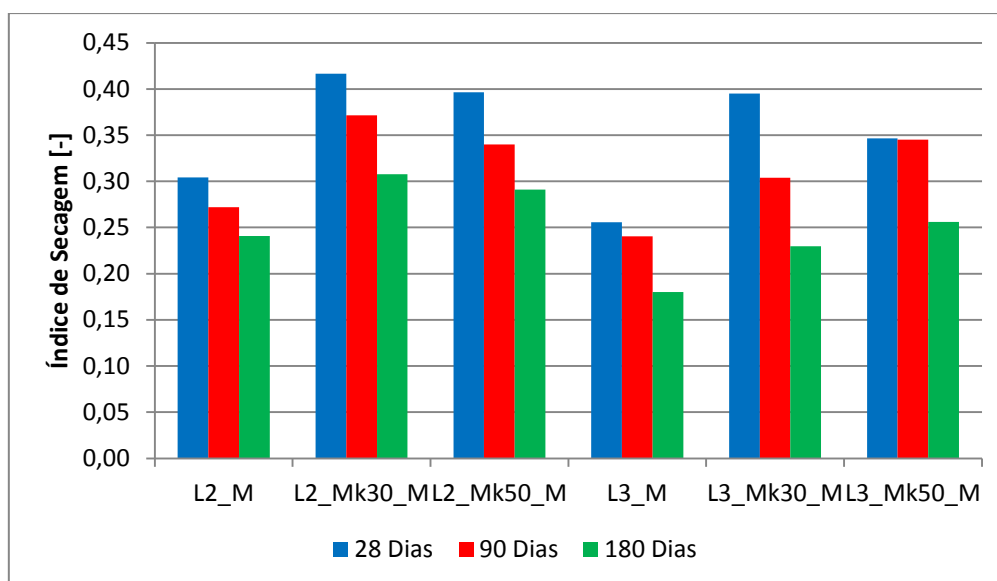


Figura 4.20 – Índices de secagem das argamassas de ambiente de cura a) standard e b) marítimo

Analisando o quadro 4.8 e figura 4.20, é claramente notório que com um aumento da idade de cura o índice de secagem decresce, ou seja, a argamassas secam mais facilmente com o aumento da idade. De referir também que, excepto nas argamassas de traço [1;2] de cura standard, todas as argamassas em que o metacaulino aparece como substituto da cal aérea, apresentam valores de índice de secagem maiores comparativamente às argamassas equivalentes sem metacaulino. Este facto não abona a favor do metacaulino, uma vez que o pretendido é facilidade na secagem.

4.2.5. POROSIDADE ABERTA

Através da equação descrita no procedimento experimental, foram calculadas médias, e respectivos desvios padrão, dos valores de porosidade aberta para cada argamassa, nas diferentes idades e ambientes de cura. O quadro 4.9 expressa os resultados obtidos.

Quadro 4.9 – Porosidade aberta

Argamassa	P_{ab} [%]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	MÉDIA	D.P.	MÉDIA	D.P.	MÉDIA	D.P.
L2_S	23,3	0,5	33,8	11,1	27,5	1,1
L2_Mk30_S	31,3	0,1	33,3	0,7	33,6	0,3
L2_Mk50_S	32,5	0,6	33,5	0,3	34,3	0,9
L3_S	24,5	1,0	23,4	0,9	27,6	0,6
L3_Mk30_S	33,0	1,1	31,3	1,8	33,3	0,7
L3_Mk50_S	34,1	0,4	32,6	0,3	34,3	1,4
L2_M	26,5	0,2	26,4	0,6	27,4	0,9
L2_Mk30_M	33,5	1,1	32,9	0,6	33,8	0,1
L2_Mk50_M	31,2	0,2	34,4	1,1	33,3	1,0
L3_M	22,2	1,8	24,4	0,3	27,4	0,5
L3_Mk30_M	29,3	0,9	32,5	1,7	32,6	1,2
L3_Mk50_M	32,2	2,3	32,8	0,6	31,9	0,2

Na figura 4.21, tem-se a representação gráfica do quadro 4.9, para agilizar a análise dos resultados obtidos.

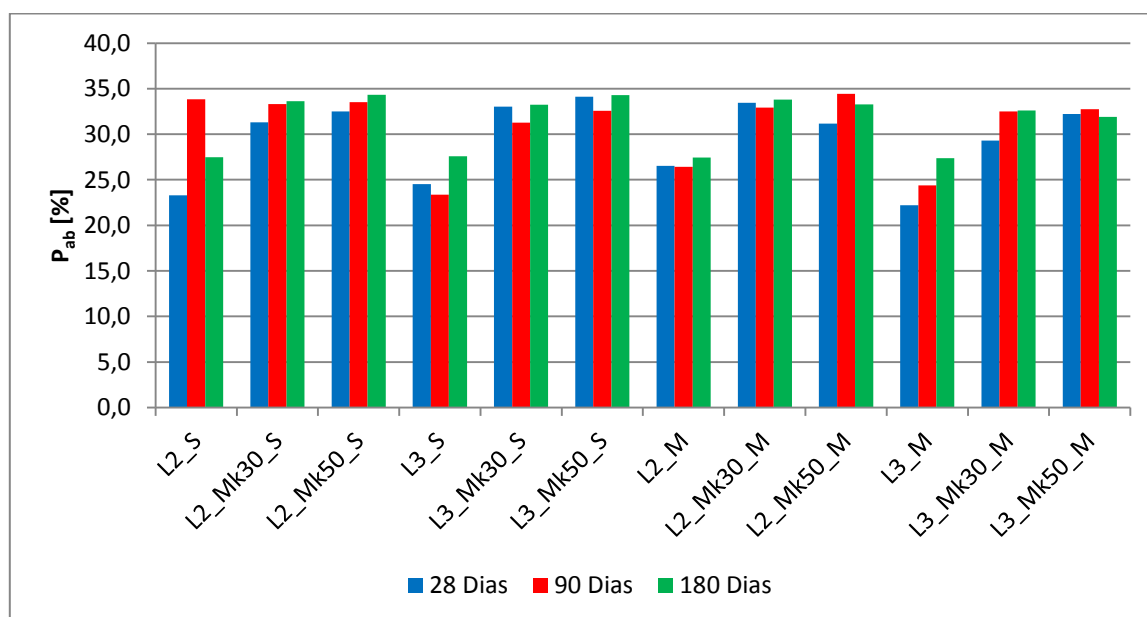


Figura 4.21 – Porosidade aberta

Estudando o gráfico da figura 4.21, é possível notar que não há grandes variações do valor de porosidade aberta ao longo da idade de cura das argamassas, excepto na argamassa L2_S que aos 90 dias de cura apresentou um valor ligeiramente superior quando comparado com as idades de 28 e 180 dias de cura. É também claro que, independentemente do traço da argamassa, a presença de metacaulino na sua composição faz aumentar a porosidade aberta nas argamassas.

Os valores que este ensaio forneceu, permitiram calcular facilmente a massa volúmica aparente. A média e o desvio padrão obtidos para cada argamassa estão apresentados no quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Massa volúmica aparente

Argamassa	MVA [kg/m ³]					
	28 Dias		90 Dias		180 Dias	
	MÉDIA	D.P.	MÉDIA	D.P.	MÉDIA	D.P.
L2_S	1719	3	1500	254	1705	26
L2_Mk30_S	1663	9	1607	24	1643	11
L2_Mk50_S	1605	17	1611	10	1652	57
L3_S	1678	33	1722	17	1691	12
L3_Mk30_S	1603	13	1676	33	1645	35
L3_Mk50_S	1591	15	1670	27	1593	10
L2_M	1648	12	1679	28	1722	11
L2_Mk30_M	1604	22	1644	21	1643	4
L2_Mk50_M	1660	11	1608	30	1641	30
L3_M	1715	22	1723	27	1714	15
L3_Mk30_M	1683	26	1618	37	1641	35
L3_Mk50_M	1628	48	1616	15	1656	7

Como vem sendo hábito, o quadro 4.10 foi transposto para um gráfico de fácil leitura na figura 4.22.

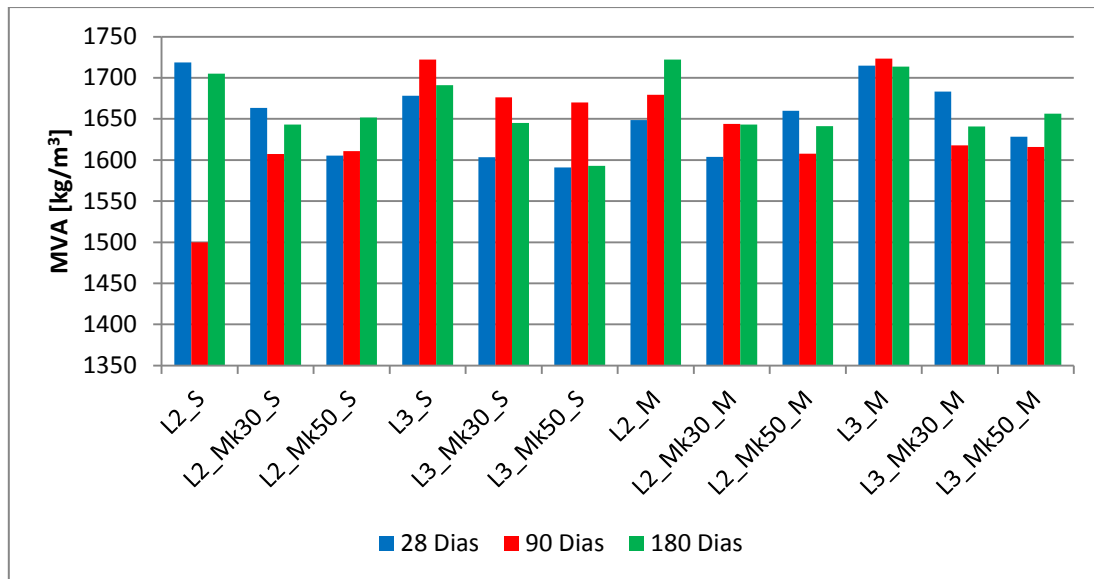
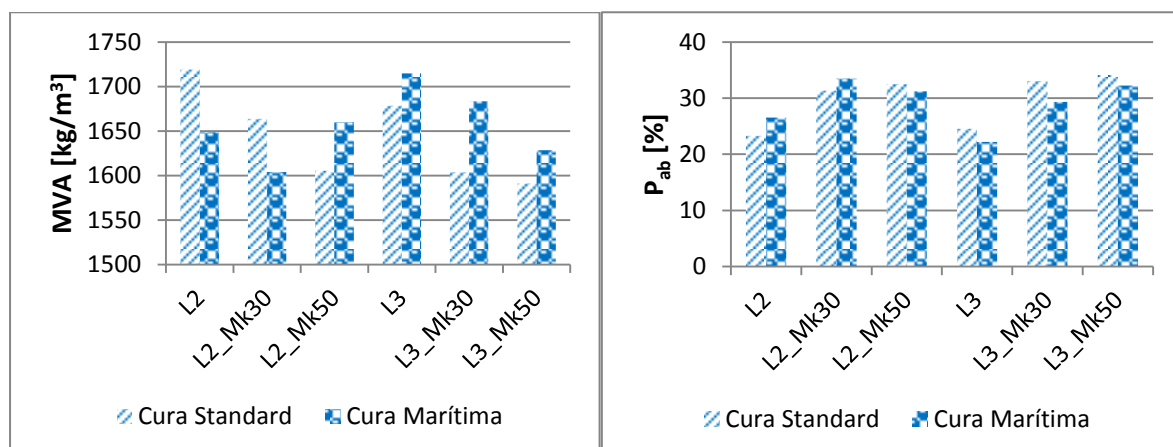


Figura 4.22 – Massa volúmica aparente

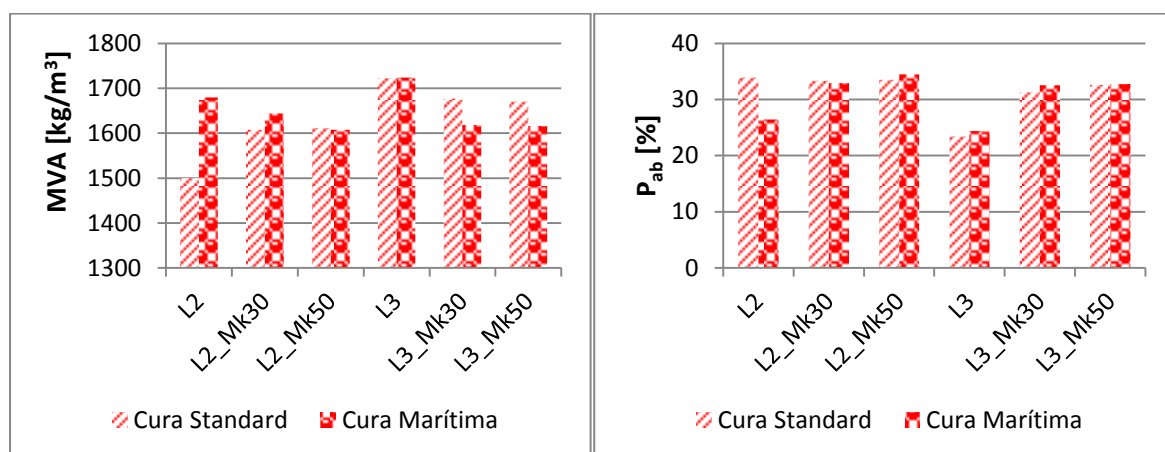
Um exame cuidadoso ao gráfico da figura 4.22 dá a sensação deste ser aproximadamente um andamento inverso ao do gráfico da figura 4.21. O gráfico da figura 4.22 mostra que os maiores valores de massa volúmica aparente pertencem a argamassas sem metacaulino na sua composição, o que, raciocinando com lógica, faz todo o sentido, isto é, é de esperar que os maiores valores de massa volúmica aparente pertençam a argamassas cuja porosidade, neste caso fala-se apenas de porosidade aberta, seja mais baixa.

Na figura 4.23 é possível averiguar mais facilmente a influência do ambiente de cura nestes dois parâmetros, porosidade aberta e massa volúmica aparente.

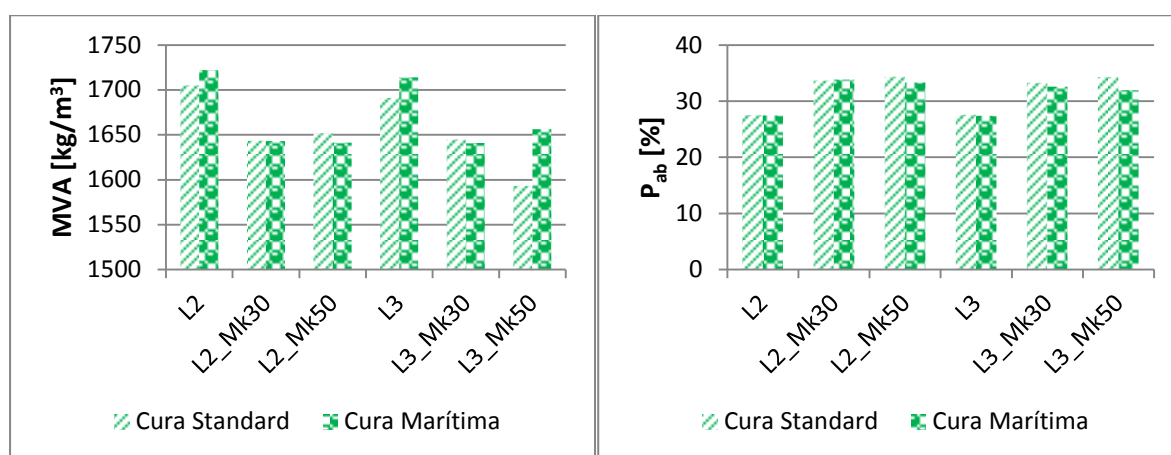
a)



b)



c)



a) 28 dias

b) 90 dias

c) 180 dias

Figura 4.23 – Influência do ambiente de cura na porosidade aberta e na massa volúmica aparente

Aos 28 dias constata-se que a porosidade aberta é ligeiramente inferior para uma cura em ambiente marítimo para argamassas de traço [1;3] e na argamassa L2_Mk50. Mais uma vez se confirma a maior porosidade aberta das argamassas com substituição de metacaulino pelo ligante, e a tendência do gráfico representativo da massa volúmica aparente seguir inversamente o andamento do gráfico da porosidade aberta.

Aos 90 dias, a influência do ambiente de cura pode ser mesmo considerada como insignificante para o valor de porosidade aberta, com exceção à argamassa L2 que apresenta um valor de porosidade aberta maior para o ambiente de cura standard.

Aos 180 dias é possível verificar que o ambiente de cura em pouco influência o valor da porosidade aberta de uma argamassa. Mais uma vez se valida o aumento da porosidade aberta para

argamassas com presença de metacaulino na sua constituição, enquanto que a massa volúmica aparente diminui para estas.

4.2.6. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Neste ensaio, o aparelho denominado por “ISOMET Model 2104”, forneceu o valor da condutibilidade térmica em W/m.K.

Foi calculada a média e o desvio padrão para cada uma das argamassas e foram expressos estes valores no quadro 4.11.

O ensaio não foi realizado aos 180 dias de cura por se achar que o tempo que este demoraria não iria trazer grandes vantagens para os resultados, uma vez que aos 180 dias os resultados iriam ser semelhantes aos 90 dias de cura.

Quadro 4.11 – Condutibilidade térmica

Argamassa	λ [W/m.K]			
	28 Dias		90 Dias	
	MÉDIA	D.P.	MÉDIA	D.P.
L2_S	0,767	0,032	0,748	0,001
L2_Mk30_S	0,549	0,002	0,560	0,005
L2_Mk50_S	0,511	0,014	0,537	0,044
L3_S	0,752	0,010	0,766	0,019
L3_Mk30_S	0,451	0,026	0,470	0,037
L3_Mk50_S	0,434	0,008	0,447	0,002
L2_M	0,734	0,009	0,845	0,007
L2_Mk30_M	0,540	0,008	0,577	0,006
L2_Mk50_M	0,542	0,036	0,513	0,014
L3_M	0,741	0,019	0,792	0,044
L3_Mk30_M	0,451	0,003	0,478	0,000
L3_Mk50_M	0,415	0,009	0,558	0,012

A exibição gráfica do quadro 4.11 está apresentada pela figura 4.24.

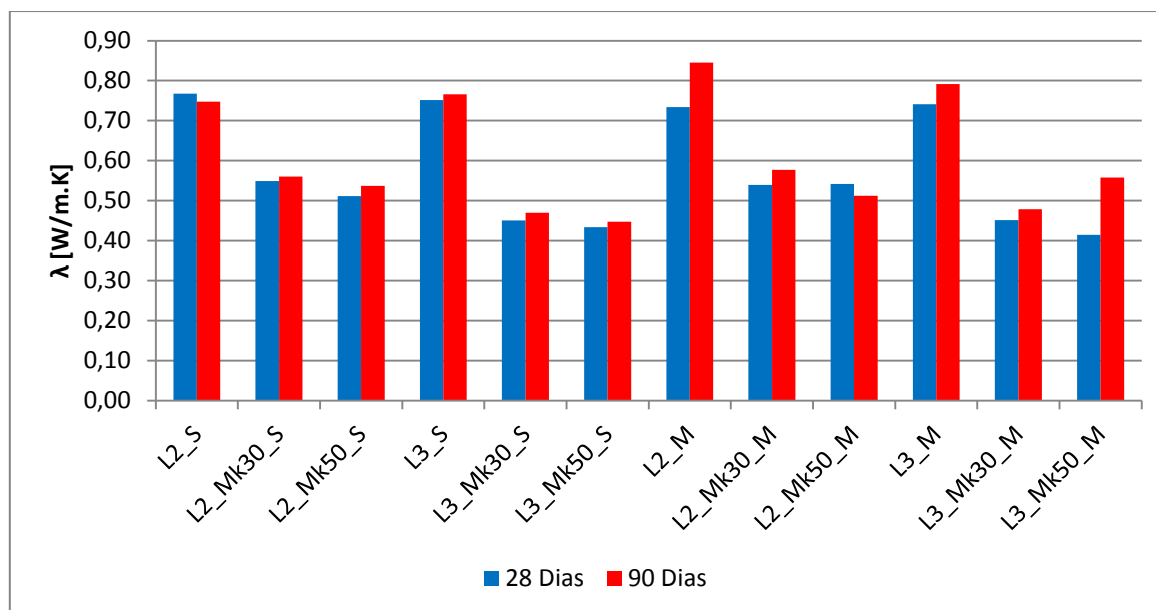


Figura 4.24 – Condutibilidade térmica

Analisando a figura 4.24 é possível ver que em 10 das 12 argamassas representadas, há um ligeiro aumento da condutibilidade térmica aos 90 dias de cura.

Independentemente da percentagem de metacaulino que a argamassa contém, verifica-se que a presença desta pozolana faz com que a condutibilidade térmica diminua face à argamassa equivalente em que o ligante não foi substituído por metacaulino.

Outro item a retirar desta análise é a indiferença do ambiente de cura na condutibilidade térmica, não sendo muito significativas as variações dos valores de λ de argamassas equivalentes sujeitas a ambientes de cura marítima e standard.

Geralmente, em aplicações práticas em obra, o que se pretende usar nos revestimentos são materiais de baixa condutibilidade térmica. Uma vez que não se deixam atravessar facilmente pela temperatura, conduzem a espaços mais amenos, por exemplo, no interior das habitações. Tendo em conta isto, podemos ver que a presença de metacaulino nas argamassas é vantajosa no que ao conforto térmico diz respeito.

4.2.7. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS

Ao longo do ensaio de resistência aos sulfatos os provetes de argamassa foram-se deteriorando com o passar dos ciclos a que iam sendo submetidos. Essa deterioração apresentou-se sob o aparecimento de fissuras e desgaste da superfície do provete, que, em ambos os casos, ia fazendo com que os provetes fossem perdendo massa.

A variação de massa que os provetes iam sofrendo de ciclo para ciclo foi registada e posteriormente foi elaborado um gráfico, como ilustram as figuras 4.25 e 4.26, onde essas variações de massas estão expressas por argamassa, ou seja, foi calculada a média de cada um dos três provetes que tinham composição, idade e ambiente de cura iguais.

Na figura 4.25 está representada a média da variação de massa que cada argamassa foi sofrendo ao longo dos 19 ciclos de ensaio, para provetes com 28 dias de cura.

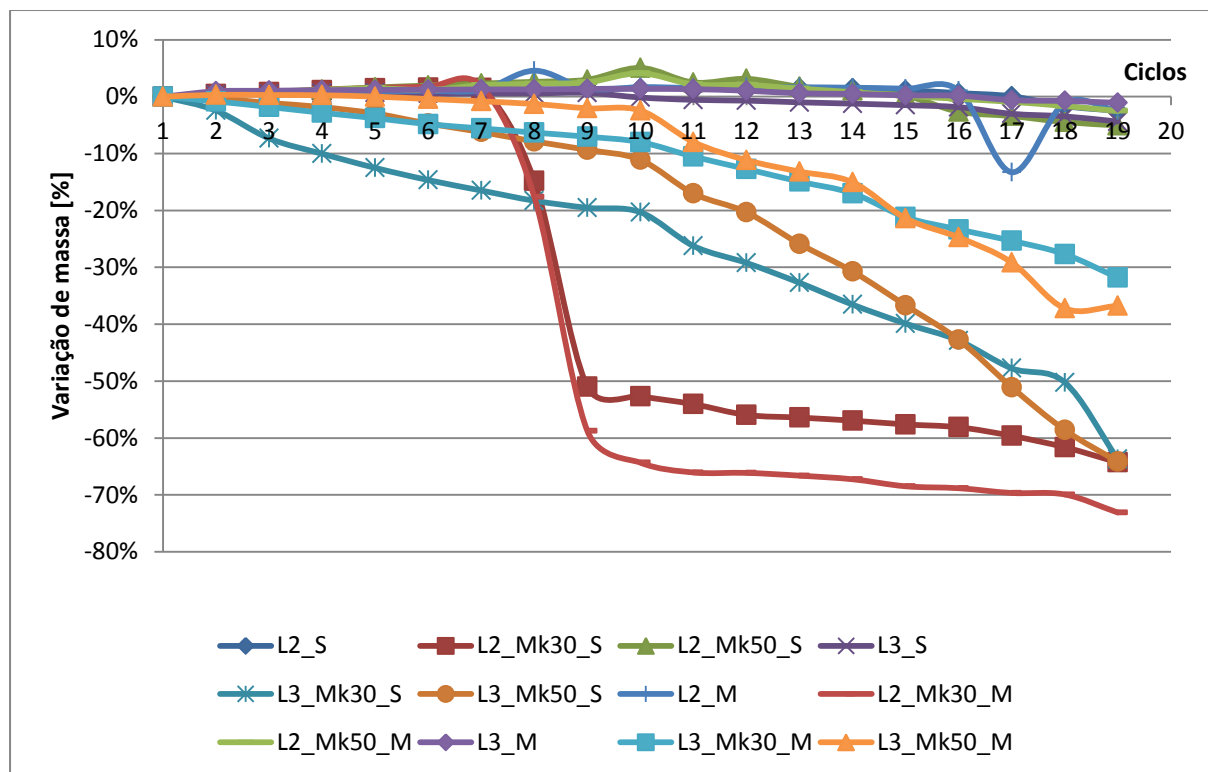


Figura 4.25 – Média da variação de massa aos 28 dias

Analisando a figura 4.25, constata-se que há diferenças significativas, aos 28 dias de cura, quanto à resistência aos sulfatos por parte das argamassas estudadas nesta dissertação. Para esta idade de cura, foi claro que as argamassas de traço [1;2] com 30% de metacaulino foram das que menos resistência aos sulfatos ofereceram, verificando-se, logo ao 7º ciclo, perdas de massa consideráveis e, já mais no final do ensaio, a destruição quase total de provetes desta argamassa.

Nas argamassas de traço [1;3] com presença de metacaulino, os resultados também não foram muito favoráveis, ou seja, a resistência aos sulfatos não foi a melhor. Ao longo dos ciclos estas argamassas foram tendo perdas de massas de uma forma linear, como o gráfico da figura 4.25 ilustra, no entanto, nota-se claramente que as argamassas expostas a um ambiente de cura marítimo apresentam melhores resultados que as argamassas de cura standard, tendo mesmo um provete de argamassa L3_Mk30_S acabado este ensaio completamente destruído.

As restantes argamassas, com 28 dias de cura, apresentaram danos menores causados pela exposição aos sulfatos.

Na figura 4.26, encontra-se o mesmo tipo de leitura da figura 4.25, mas agora numa idade de 90 dias de cura.

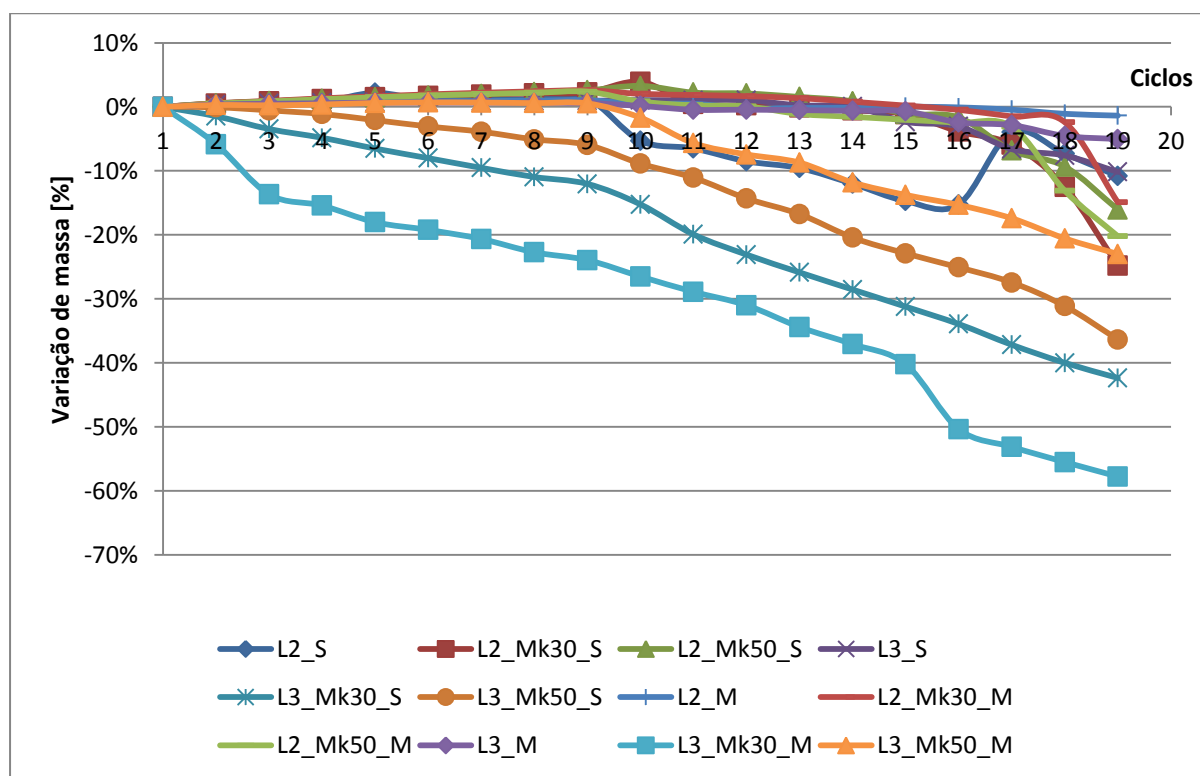


Figura 4.26 – Média da variação de massa aos 90 dias

Ao contrário do que sucedeu no gráfico da figura 4.25, em que se tinha duas argamassas (L2_Mk30_S e L2_Mk30_M) com perdas de massas muito acentuadas num ciclo específico do ensaio (neste caso fala-se do 7º ciclo), aos 90 dias de cura, as argamassas vão perdendo massa de uma forma relativamente linear. Repara-se também, que as argamassas L2_Mk30_S e L2_Mk30_M que, aos 28 dias de cura, apresentaram uma tão fraca resistência aos sulfatos, aparecem agora, aos 90 dias, com perdas de massas a rondar os 14% e 24%, respectivamente, verificadas apenas nos ciclos finais do ensaio.

Continua-se a verificar que as argamassas de traço [1;3] com presença de metacaulino são das que piores resultados apresentam aos 90 dias de cura. Destaca-se mesmo o mau comportamento da argamassa L3_Mk30_M, em que um provete desta argamassa nem chegou a completar todos os ciclos do ensaio devido ao seu avançado estado de deterioração.

O destaque pela positiva vai para a argamassa L2_M que, aos 90 dias de cura, apresentou perdas de massa insignificantes, comprovando, até pelo aspecto visual dos seus provetes, uma boa resistência aos sulfatos.

Analisando os dois gráficos das figuras 4.25 e 4.26, verifica-se que, no final do ensaio, a amplitude dos valores finais da variação de massa é superior para as argamassas com uma idade de cura de 28 dias.

Na figura 4.27 estão representadas, sob a forma de um gráfico de barras, as variações de massa ocorridas no 9º ciclo do ensaio, que por sua vez foi o ciclo que alguns provetes se desmantelaram com maior expressão.

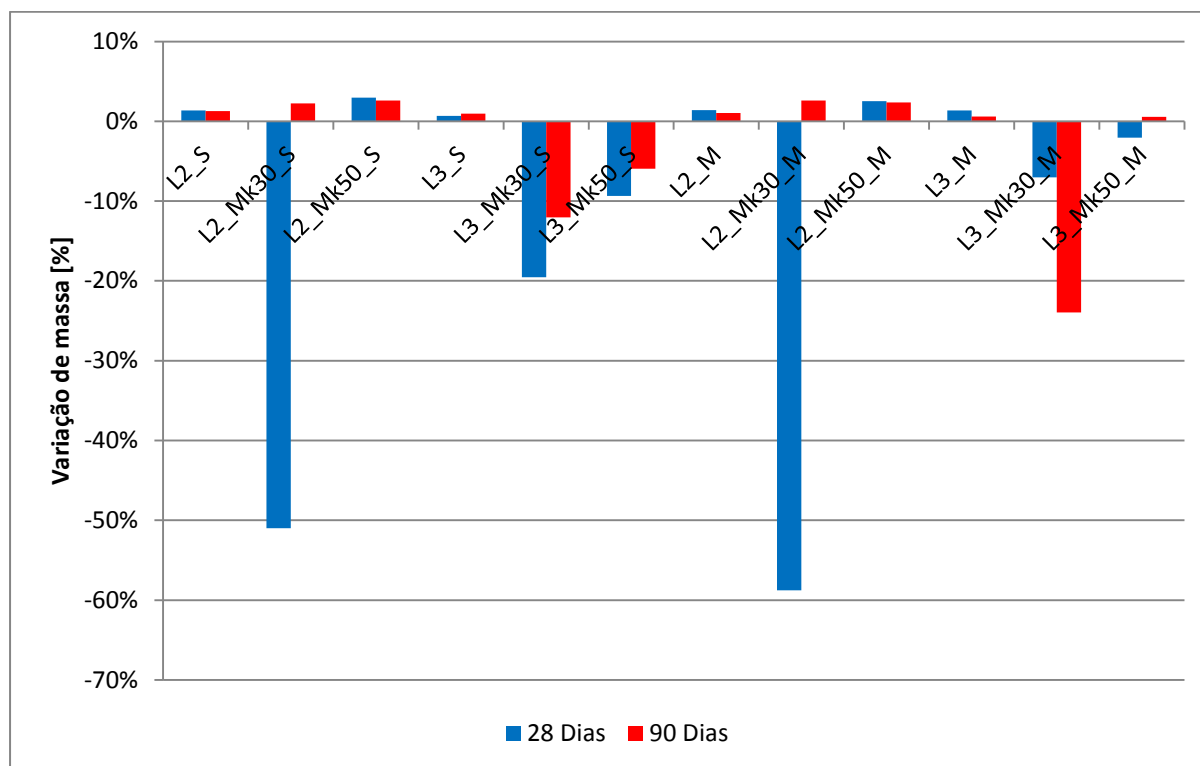


Figura 4.27 – Variações de massa ao 9º ciclo

Mais uma vez é possível aferir o prior comportamento das argamassas com 28 dias de cura, principalmente das argamassas L2_Mk30_S e L2_Mk30_M aos 28 dias quando comparadas com as de 90 dias. De destacar também o bom comportamento das argamassas sem metacaulino e da argamassa de traço [1;2] com 50% de metacaulino em todas as idades e ambientes de cura.

Inversamente à tendência do gráfico, está a argamassa L3_Mk30_M que apresenta melhores resultados aos 28 dias do que aos 90 dias de cura, ao 9º ciclo do ensaio.

Como foi dito no início deste capítulo, a deterioração dos provetes de argamassa apresentou-se sob o aparecimento de fissuras e o desgaste gradual da superfície do provete. A figura 4.28 mostra um provete de argamassa L2_Mk30_M com 28 dias de cura ao fim do 7º ciclo do ensaio. Como é possível verificar pela figura 4.28, este provete começou a deteriorar-se devido ao aparecimento de fissuras provocadas por reacções expansivas na zona do núcleo do provete. No ciclo seguinte o provete desagregou-se por completo devido às grandes dimensões da fissuração. Este comportamento foi característico de provetes de argamassa de traço [1;2] com metacaulino.



Figura 4.28 – Provetes de argamassa L2_Mk30_M

Na figura 4.29, pode-se visualizar o estado em que terminaram os provetes com argamassas de traço [1;3] com metacaulino. Devido à elevada friabilidade destes provetes não foram vistos grandes fenómenos de fissuração, pois estes tinham resistências muito baixas. Ao tacto, alguns provetes, pareciam pouco mais sólidos que torrões de areia, então a sua degradação foi-se vendo ao longo dos ciclos do ensaio sob a forma de um desgaste gradual das suas faces, culminando com o aspecto visivelmente arredondado ilustrado pela figura 4.29.



Figura 4.29 – Provete com argamassas de traço [1;3] com metacaulino

Os provetes sem metacaulino na sua composição acabaram o ensaio sem grandes fenómenos de deterioração, apenas com poucas e pequenas fissuras e com um desgaste superficial insignificante, o que levou a que o seu aspecto visual, antes e depois do ensaio, pouco se alterasse.

5. DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objectivo fornecer uma comparação de resultados e aferir a tendência de evolução dos resultados obtidos em cada um dos ensaios, possibilitando assim uma melhor e mais completa caracterização de cada uma das argamassas ensaiadas.

Para facilitar a leitura dos resultados, o quadro 5.1 engloba os resultados gerais obtidos em cada ensaio, com os respectivos desvios padrão.

Quadro 5.1 - Resultados gerais obtidos em cada ensaio

Ensaio	Idade/Desvio Padrão	Argamassas											
		Cura Standard						Cura Marítima					
		L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50	L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50
Edin [MPa]	28d	2837	1408	7917	3507	1970	1123	3272	1624	3049	3836	2047	3616
	D.P.	149	144	300	227	357	25	186	72	67	86	128	120
	90d	3443	1558	7786	4050	2406	2919	3969	4364	3991	4412	1709	2562
	D.P.	103	73	1404	62	354	57	53	350	14	35	100	1726
	180d	6912	6152	7837	5367	2104	4352	5909	2790	3651	5810	1194	4562
	D.P.	4510	527	1015	280	435	2112	716	1386	2037	451	162	680
Rt [MPa]	28d	0,33	0,23	0,57	0,36	0,05	0,12	0,32	0,31	0,41	0,28	0,06	0,19
	D.P.	0,02	0,01	0,08	0,05	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,15	0,00	0,12
	90d	0,36	0,28	0,43	0,42	0,06	0,10	0,43	0,21	0,21	0,45	0,05	0,22
	D.P.	0,04	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,11	0,04	0,01	0,02
	180d	0,36	0,27	0,39	0,44	0,05	0,24	0,43	0,15	0,28	0,33	0,02	0,21
	D.P.	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03	0,14	0,06	0,01	0,13	0,21	0,02	0,03
Rc [MPa]	28d	0,45	1,76	2,90	0,59	0,40	0,75	0,53	1,83	2,52	0,41	0,40	0,89
	D.P.	0,02	0,22	0,20	0,05	0,11	0,02	0,03	0,26	0,18	0,23	0,15	0,29
	90d	0,64	1,94	2,01	2,70	0,45	0,49	0,79	1,13	1,24	0,70	0,31	0,93
	D.P.	0,07	0,23	0,49	2,59	0,22	0,00	0,06	0,26	0,47	0,18	0,09	0,10
	180d	0,71	1,81	1,63	0,68	0,39	0,90	0,89	0,88	1,48	0,91	0,20	0,89
	D.P.	0,08	0,17	0,53	0,11	0,11	0,35	0,15	0,06	0,48	0,04	0,02	0,26

Ensaio	Idade/Desvio Padrão	Argamassas											
		Cura Standard						Cura Marítima					
		L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50	L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50
CC [kg/m ² /min ^{0,5}]	28d	1,423	2,3	1,404	1,096	1,818	2,033	1,179	1,865	1,537	1,021	1,501	1,939
	D.P.	0,49	1,27	0,97	0,71	1,06	0,72	0,82	1,16	0,59	0,48	0,41	1,84
	90d	1,171	1,766	1,229	0,952	1,204	1,732	1,297	2,07	1,597	0,96	1,654	1,762
	D.P.	0,48	0,13	0,23	0,63	1,1	0,92	0,27	0,74	0,63	0,63	1,04	1,42
	180d	1,068	2,019	1,463	1,029	1,696	1,775	1,284	2,066	1,537	0,933	1,763	1,743
	D.P.	1,95	0,49	1,44	0,32	0,74	2,64	0,43	0,45	1,50	1,95	0,77	1,12
VA [kg/m ²]	28d	19,035	26,578	27,554	16,96	25,425	26,094	17,566	26,193	26,911	18,055	25,946	27,017
	D.P.	0,19	0,88	0,81	0,31	0,33	0,68	1,02	1,72	1,09	1,11	0,29	1,09
	90d	19,051	26,992	27,092	18,176	25,638	26,453	19,815	27,611	27,11	17,232	25,94	26,60
	D.P.	0,99	0,68	1,43	0,89	1,56	1,00	0,08	0,17	0,50	1,26	0,99	2,80
	180d	19,191	26,064	27,767	17,389	25,801	26,487	21,021	27,611	28,83	18,307	25,338	26,615
	D.P.	0,30	0,73	1,33	0,28	1,49	2,25	1,33	1,53	1,05	0,13	0,18	1,30
IS [-]	28d	0,44	0,43	0,44	0,31	0,39	0,40	0,30	0,42	0,40	0,26	0,39	0,35
	D.P.	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03
	90d	0,36	0,37	0,36	0,27	0,33	0,36	0,27	0,37	0,34	0,24	0,30	0,35
	D.P.	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01
	180d	0,23	0,25	0,21	0,16	0,20	0,28	0,24	0,31	0,29	0,18	0,23	0,26
	D.P.	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,06

Ensaio	Idade/Desvio Padrão	Argamassas											
		Cura Standard						Cura Marítima					
		L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50	L2	L2_Mk30	L2_Mk50	L3	L3_Mk30	L3_Mk50
P _{ab} [%]	28d	23,3	31,3	32,5	24,5	33,0	34,1	26,5	33,5	31,2	22,2	29,3	32,2
	D.P.	0,5	0,1	0,6	1,0	1,1	0,4	0,2	1,1	0,2	1,8	0,9	2,3
	90d	33,8	33,3	33,5	23,4	31,3	32,6	26,4	32,9	34,4	24,4	32,5	32,8
	D.P.	11,1	0,7	0,3	0,9	1,8	0,3	0,6	0,6	1,1	0,3	1,7	0,6
	180d	27,5	33,6	34,3	27,6	33,3	34,3	27,4	33,8	33,3	27,4	32,6	31,9
	D.P.	1,1	0,3	0,9	0,6	0,7	1,4	0,9	0,1	1,0	0,5	1,2	0,2
MVA [kg/m ³]	28d	1719	1663	1605	1678	1603	1591	1648	1604	1660	1715	1683	1628
	D.P.	3	9	17	33	13	15	12	22	11	22	26	48
	90d	1500	1607	1611	1722	1676	1670	1679	1644	1608	1723	1618	1616
	D.P.	254	24	10	17	33	27	28	21	30	27	37	15
	180d	1705	1643	1652	1691	1645	1593	1722	1643	1641	1714	1641	1656
	D.P.	26	11	57	12	35	10	11	4	30	15	35	7
λ [W/m.K]	28d	0,767	0,549	0,511	0,752	0,451	0,434	0,734	0,540	0,542	0,741	0,451	0,415
	D.P.	0,032	0,002	0,014	0,010	0,026	0,008	0,009	0,008	0,036	0,019	0,003	0,009
	90d	0,748	0,560	0,537	0,766	0,470	0,447	0,845	0,577	0,513	0,792	0,478	0,558
	D.P.	0,001	0,005	0,044	0,019	0,037	0,002	0,007	0,006	0,014	0,044	0,000	0,012
Sulfatos (variação de massa ao 9º ciclo [%])	28d	0,01	-0,51	0,03	0,01	-0,20	-0,09	0,01	-0,59	0,03	0,01	-0,07	-0,02
	90d	0,01	0,02	0,03	0,01	-0,12	-0,06	0,01	0,03	0,02	0,01	-0,24	0,01

5.1. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Admitindo como argamassas de referência, L2 e L3 (argamassas sem presença de metacaulino), a análise do quadro 5.1 indica uma tendência de diminuição das três características mecânicas (E_{din} , R_t e R_c) de todas as argamassas de cura standard com 30% e 50% de metacaulino em comparação com as respectivas argamassas de referência, independentemente da idade de cura, exceção apenas para as argamassas L2_Mk50_S, que apresentam uma tendência de aumento para E_{din} e R_t .

Para as argamassas de cura marítima também se nota uma tendência de diminuição de E_{din} e R_t . No entanto, para R_c , há uma clara tendência de aumento nas argamassas com 50% de metacaulino.

Verifica-se, no quadro 5.1, que de um modo geral, a MVA, tende a diminuir com a presença de metacaulino, em todas as idades e independentemente do ambiente de cura, exceção feita para a argamassa de traço [1;2] ensaiada a 90 dias. Ao contrário do primeiramente previsto, uma diminuição da MVA, nem sempre conduz a uma diminuição das resistências mecânicas, pois no quadro 5.1 encontram-se aumentos de resistências mecânicas que andam a par de diminuições da MVA, o que leva a crer os compostos responsáveis pelas resistências mecânicas, podem não fazer variar significativamente a MVA de uma argamassa.

Numa parede antiga, considera-se uma boa argamassa de aplicação para reboco, as que os valores do módulo de elasticidade dinâmico estiverem entre os 2000 e os 5000 MPa aos 90 dias de cura (VEIGA, 2005). Quanto aos valores de R_t e R_c estes devem estar compreendidos entre 0,2 e 0,7 MPa e entre 0,4 e 2,5 MPa, respectivamente, para uma idade de cura de 90 dias (VEIGA et al., 2010). No caso do E_{din} verifica-se que, à exceção das argamassas L2_Mk30_S, L2_Mk50_S e L3_Mk30_M, todas podem ser consideradas boas argamassas para aplicação em rebocos de edifícios antigos. No caso da R_t as argamassas desaconselhadas são as L3_Mk30_S, L3_Mk50_S e L3_Mk30_M. Quanto à R_c , as argamassas fora dos parâmetros de qualidade são a L3_S e a L3_Mk30_M. Consta-se que a argamassa L3_Mk30_M é a pior das argamassas estudadas nesta dissertação, quanto às características mecânicas, se o objectivo for a aplicação para reboco em edifícios antigos.

As argamassas para rebocos, segundo a norma EN 998-1:2010 (CEN, 2010), devem apresentar valores de R_c não inferiores a 0,4 MPa aos 28 dias. O quadro 5.1 mostra que todas as argamassas cumprem esta norma.

COMPARAÇÃO COM AMBIENTE DE CURA HÚMIDA

Tendo em conta os estudos elaborados por Branco (2013), que efectuou argamassas com os mesmos traços das argamassas ensaiadas para esta dissertação, mas com um ambiente de cura completamente diferente, a que se dá o nome de cura húmida (humidade relativa: $95\pm 5\%$ e temperatura: $23\pm 3^{\circ}\text{C}$), foi feita uma comparação de resultados, para perceber a influência do ambiente de cura. No que às características mecânicas diz respeito, todas as argamassas sem metacaulino apresentaram valores inferiores quando expostas a um ambiente de cura húmida. Nas argamassas onde há presença de metacaulino passa-se exactamente o contrário, os valores das resistências mecânicas são superiores para a exposição num ambiente de cura húmida [BRANCO, 2013].

5.2. COMPORTAMENTO SOB ACÇÃO DA ÁGUA

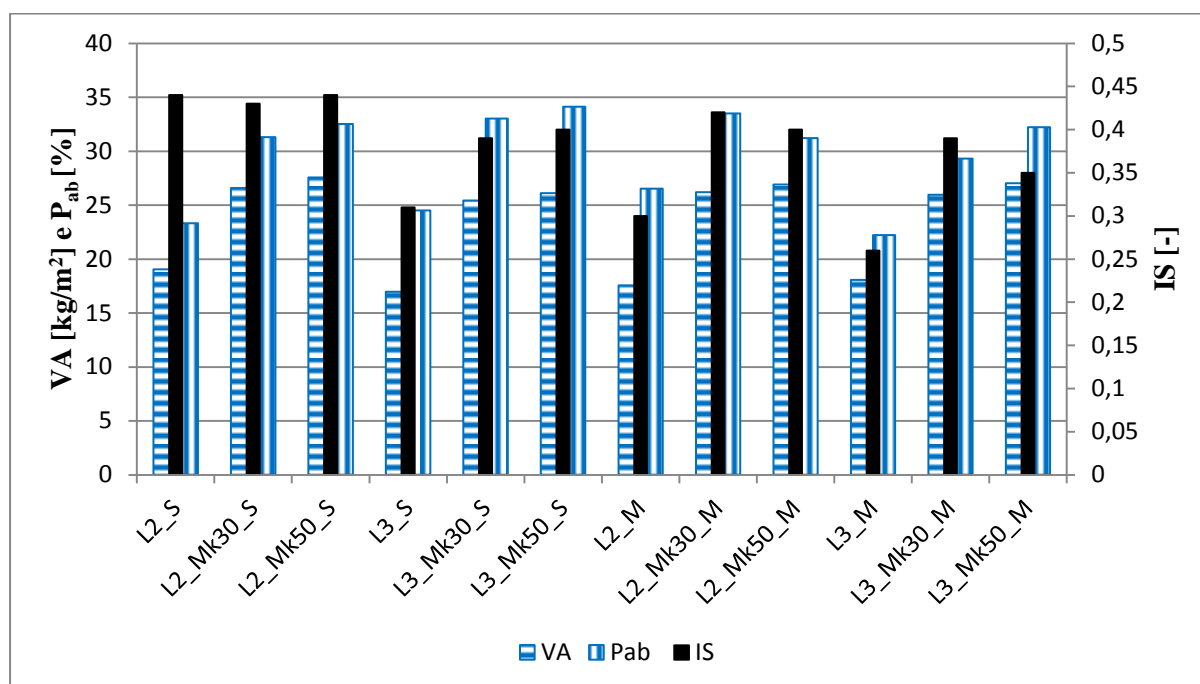
Os ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem, permitiram averiguar o comportamento das argamassas à acção da água. De uma maneira geral, quando se produz uma argamassa, procura-se que esta absorva poucas quantidades de água e que o seu processo de secagem seja fácil [VELOSA, 2006].

O metacaulino, no que à absorção de água diz respeito, não favorece o comportamento das argamassas, uma vez que todas as argamassas que continham esta pozolana na sua composição absorveram maiores quantidades de água, e, quase sempre, mais depressas, do que argamassas em que o ligante não foi substituído por metacaulino.

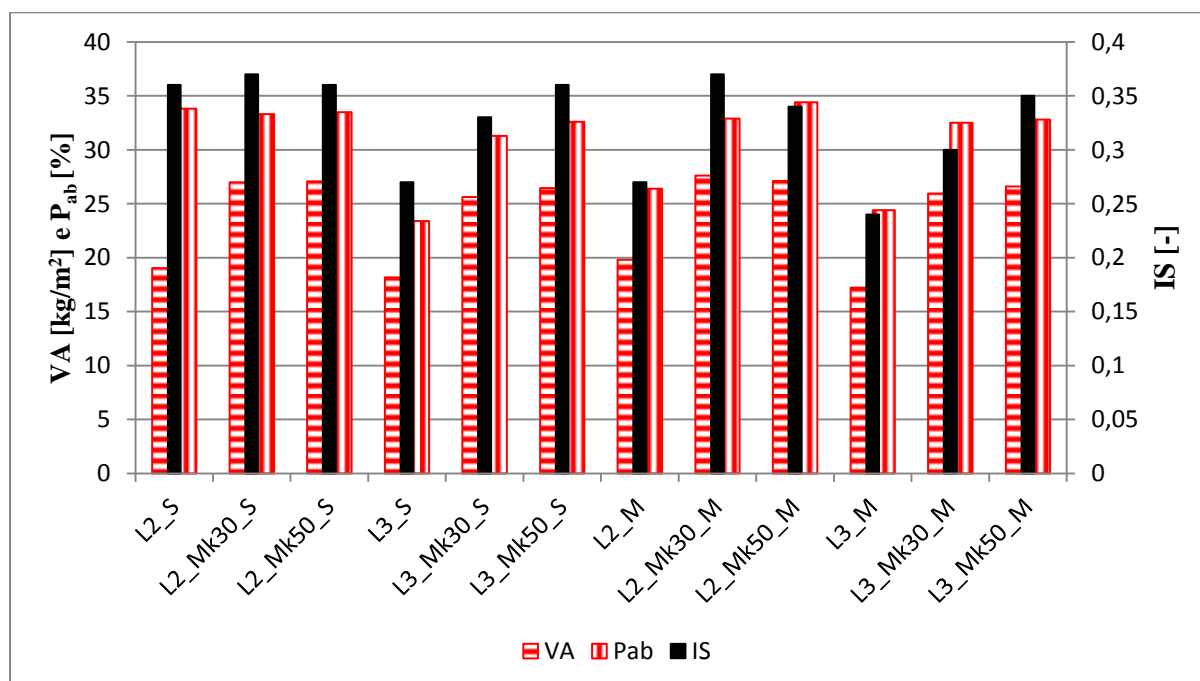
No âmbito da secagem, as argamassas com metacaulino também não saem beneficiadas, pois, à excepção das argamassas de traço [1;2] expostas a um ambiente de cura standard, verifica-se que a presença de metacaulino aumenta o índice de secagem, isto é, dificulta este processo.

Um dos factores que condiciona o comportamento das argamassas face à acção água é a estrutura interna da argamassa. A porosidade aberta, estudada nesta dissertação, fornece um bom indicador do comportamento da argamassa quando sujeita à acção água. Na figura 5.1 está expressa a evolução do VA e do IS face à evolução da P_{ab} aos 28, 90 e 180 dias de cura.

a)



b)



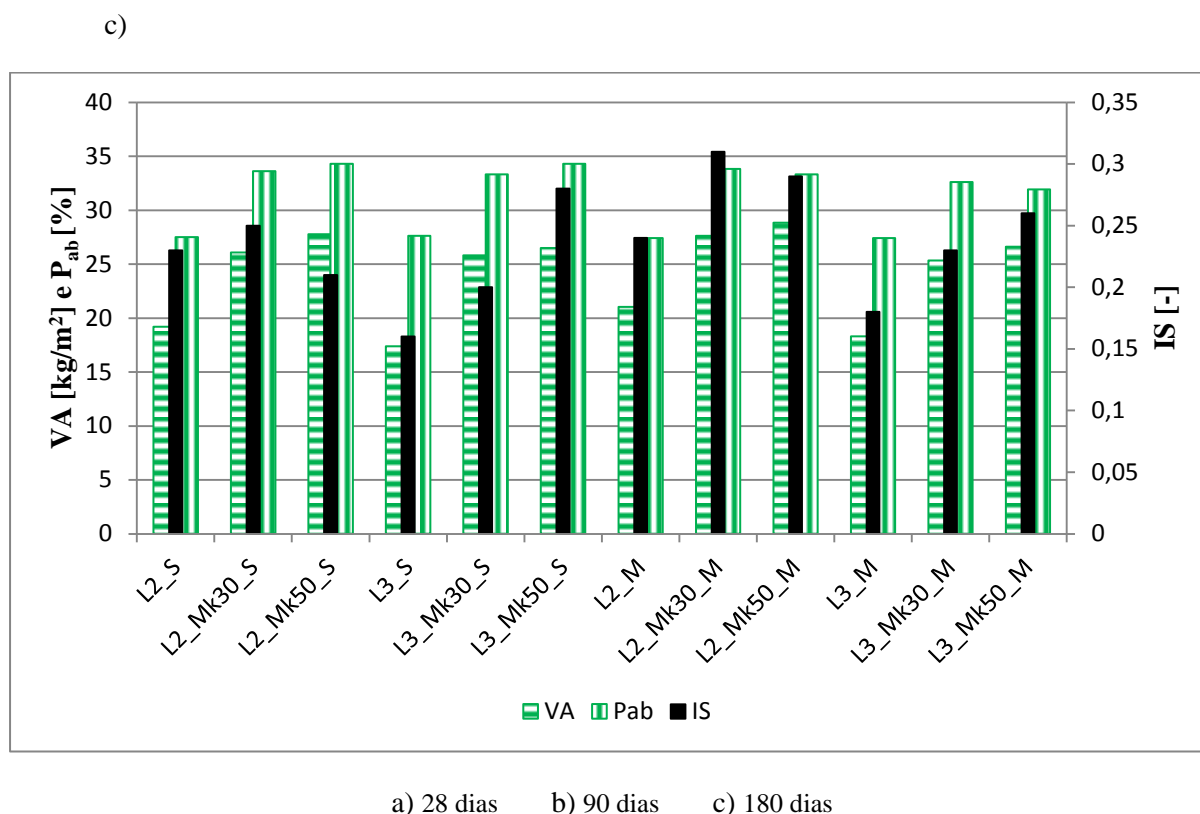


Figura 5.1 – Evolução do valor assintótico, do índice de secagem e da porosidade aberta

Na figura 5.1, verifica-se que, de uma maneira geral, estes três parâmetros, valor assintótico, índice de secagem e porosidade aberta, têm andamentos relativamente parecidos, então, é possível aferir que argamassas com valores de P_{ab} maiores conduzem a valores de VA maiores e também a valores de IS maiores, logo uma alta P_{ab} não é uma boa característica para uma argamassa que se pretende que venha a ser usada numa situação real, pois estas argamassas não têm um comportamento adequado quando sujeitas à acção da água.

O VA é a quantidade máxima de água que um provete de argamassa pode absorver por capilaridade. Essa absorção é feita pelos poros que o provete de argamassa contém, logo faz todo o sentido que estes dois parâmetros tenham andamentos semelhantes, como ilustra a figura 5.1, pois, quantos mais poros tiver o provete de argamassa, mais espaço haverá para alojar água.

Interpretando estes resultados com base na norma EN 998-1:2010 (CEN, 2010), esta especifica que para a aplicação de uma argamassa como reboco exterior de uma camada e com boas características térmicas, o valor do CC deve estar contido na categoria W1, que refere que $CC \leq 0,40 \text{ kg/m}^2/\text{min}^{0,5}$. Pelo quadro 5.1, verifica-se que nenhum das argamassas tem um valor de CC, aos 28 dias de cura, contido no referido intervalo. A mesma norma não especifica um intervalo de valores para uma argamassa que se destine a uma aplicação genérica (categoria W0).

Os valores de CC entre os 1,0 e os 1,5 kg/m²/min^{0,5}, indicam boa aplicabilidade para argamassas de revestimento ou de refechamento de juntas [VEIGA et al., 2010]. Perante este indicador, o quadro 5.1 demonstra a adequabilidade das argamassas em que o ligante não foi substituído por metacaulino, onde há presença de metacaulino, as argamassas não apresentam valores tão satisfatórios.

COMPARAÇÃO COM AMBIENTE DE CURA HÚMIDA

Usufruindo dos resultados obtidos pela dissertação de Branco (2013), constata-se que o ambiente de cura húmida (humidade relativa: 95±5% e temperatura: 23±3°C) é mais favorável que os ambientes de cura standard e marítima. Apenas para as argamassas de traço [1;3] com 90 dias de cura, os ambientes de cura standard e marítima, apresentaram melhores resultados, isto é, os resultados do CC, VA e IS, foram mais baixos. Esta análise comparativa é meramente qualitativa, uma vez que para além dos ensaios terem sido efectuados por utilizadores diferentes, houve ligeiras diferenças nos procedimentos adoptados, daí concluir-se que uma análise comparativa quantitativa pode induzir em erro.

5.3. POROSIDADE ABERTA E MASSA VOLÚMICA APARENTE

A porosidade aberta e a massa volúmica aparente apresentam valores inversamente proporcionais, como demonstra o quadro 5.1 e como a já tinha sido verificado no capítulo da análise de resultados.

COMPARAÇÃO COM AMBIENTE DE CURA HÚMIDA

Comparando com os resultados obtidos por Branco (2013), verifica-se que o ambiente de cura húmida conduz, no geral, a percentagens de porosidade aberta superiores às percentagens obtidas em ambientes de cura standard e marítima, à excepção das argamassas de traço [1;2] com 90 dias de cura, onde, neste caso, as percentagens de porosidade aberta mais baixas foram registadas em provetes de argamassas sujeitas a uma cura dita húmida. Para argamassas em que o ligante não foi substituído por metacaulino, as diferenças na percentagem de porosidade aberta andam na ordem dos ±5%, sendo verdadeiramente insignificantes para argamassas que contêm metacaulino.

5.4. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Nesta discussão não se pode considerar que os valores resultantes deste ensaio estejam numa escala correcta, pois as dimensões da sonda com que foi realizado o ensaio, eram superiores às do provete de argamassa que estava a ensaiar, logo não se pode considerar que o ensaio tenha sido feito correctamente. No entanto, como todos os provetes foram ensaiados da mesma maneira é aceitável estabelecer uma comparação entre eles.

Tal como mostra o capítulo da análise de resultados e o quadro 5.1, as argamassas com metacaulino apresentam valores de condutibilidade térmica mais baixos. O metacaulino é mais poroso que a cal aérea, então, quando se substitui a cal aérea por metacaulino, altera-se a microestrutura da argamassa, fazendo com que as características térmicas desta melhorem, isto é, o valor da condutibilidade térmica baixa. É de notar também, que os valores da porosidade aberta são inversamente proporcionais aos da condutibilidade térmica, ou seja, de um modo geral, verificou-se que quanto maior a porosidade aberta, menor seria o valor da condutibilidade térmica.

COMPARAÇÃO COM AMBIENTE DE CURA HÚMIDA

As argamassas que sofreram um ambiente de cura húmida, levado a cabo pelo estudo efectuado por Branco (2013), foram ensaiadas mediante um procedimento idêntico ao adoptado nesta dissertação, no que à condutibilidade térmica diz respeito. Comparando os resultados, verifica-se que os valores obtidos são muito semelhantes, obtiveram-se os maiores valores de condutibilidade térmica e menores de porosidade aberta para as argamassas de cal aérea sem metacaulino e os valores mais baixos de condutibilidade térmica e maiores de porosidade aberta para as argamassas com metacaulino [BRANCO, 2013].

5.5. RESISTÊNCIA AOS SULFATOS

Os provetes de argamassas com metacaulino foram, de um modo geral, os que mais sofreram com este ensaio que sujeitou as argamassas a ciclos de molhagem/secagem numa solução não saturada de sulfato de sódio de anidro. Uma das explicações para esta ocorrência, prende-se com o facto das argamassas que têm metacaulino na sua composição serem argamassas com poros de menores dimensões, quando comparadas com argamassas sem metacaulino. O ensaio submeteu as argamassas a ciclos de molhagem/secagem que, na prática, eram ciclos de dissolução/cristalização do sal. A essa cristalização está associado o desenvolvimento de tensões, que vão agredindo o material que está a envolver os poros presentes nas argamassas. Os provetes de argamassas com metacaulino têm poros de menores dimensões, logo têm um maior número de poros, que implica uma maior quantidade de material que está a envolver esses mesmos poros, material esse que é fortemente agredido pelos ciclos molhagem/secagem, daí resultarem maiores danos nestes provetes.

A porosidade aberta também pode ter consequências neste ensaio, pois nota-se que há uma tendência que mostra que as argamassas com valores de porosidade aberta mais baixos resultam em provetes de argamassa mais resistentes aos ciclos de molhagem/secagem.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

Os objectivos gerais a que esta dissertação se propunha foram atingidos, assim como os objectivos dos projectos FCT-METACAL e LIMECONTECH, em que esta dissertação se inseriu.

Começando pela parte introdutória desta dissertação, verificou-se que as argamassas de cal aérea já eram usadas por civilizações muito antigas, assim como as pozolanas que eram usadas para alterar características das argamassas. No entanto, com a evolução e o crescimento exponencial da espécie humana, houve a necessidade de procurar ligantes que possibilitassem a realização de argamassas mais resistentes e de aplicação mais rápida e fácil. O cimento Portland veio preencher essa lacuna. A evolução e o crescimento aconteceram de formas desmedidas e desregradas, o que conduziu a problemas ambientais que até à data eram desconhecidos e, muitas vezes, nem eram idealizados. Hoje em dia, aprendeu-se com os erros do passado, e as preocupações ambientais são uma constante, no sentido de criar uma civilização mais sustentável e tentando fazer apaziguar certas consequências provenientes de uma evolução num sentido errado.

A cal aérea, há muito conhecida, surge como uma alternativa mais viável ao cimento Portland, do ponto de vista ambiental, pois a sua produção requer menores dispêndios de energia e, consequentemente, inferiores emissões de CO₂.

A nível social e económico, o país, e a Europa em geral, estão a seguir políticas que levam a que grande parte dos trabalhos de engenharia civil sejam realizados no âmbito de intervenções de reabilitação e conservação, o que, a nível ambiental, pode até ser considerado mais sustentável.

Na história da engenharia civil nacional, nunca a reabilitação e a conservação estiveram tão em voga. Perante este cenário, torna-se imperativo o aprofundamento dos conhecimentos de técnicas e materiais que sejam uma mais-valia para esta área da engenharia civil.

Nas intervenções de reabilitação e conservação, as argamassas que têm o cimento Portland como ligante, já deram provas da sua fraca aplicabilidade, devido às características do ligante, por outro lado as argamassas de cal aérea têm apresentado resultados satisfatórios devido à sua boa compatibilidade com suportes existentes, e a adição de pozolanas tem vindo a possibilitar a monitorização das características destas argamassas.

Para avaliar o comportamento de argamassas adequadas a trabalhos de reabilitação e conservação, foram produzidas seis argamassas diferentes, todas elas usando cal aérea como ligante: L2, L2_Mk30 e L2_Mk50 (argamassas de traço [1;2] com 0%, 30% e 50%, respectivamente, de metacaulino em detrimento do ligante); L3, L3_Mk30 e L3_Mk50 (argamassas de traço [1;3] com 0%, 30% e 50%, respectivamente, de metacaulino em detrimento do ligante). Estas argamassas foram produzidas numa quantidade suficiente que permitiu o estudo da influência do ambiente de cura, do traço e da idade.

Os ambientes de cura estudados foram o marítimo e o standard ($T=20\pm3^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\pm5\%$), que serviu de comparação. Salienta-se a importância do estudo feito para as condições de cura marítimas, uma vez que uma percentagem considerável do edificado português se localiza junto ao oceano.

Para aferir as características de cada uma das argamassas produzidas, e testar a influência do ambiente de cura, do traço e da idade, foram realizados ensaios, mediante normas existentes.

O ensaio de espalhamento, realizado com as argamassas ainda em estado fresco, permitiu concluir que o valor do espalhamento diminui com o aumento da percentagem de metacaulino na argamassa.

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, que permitiu avaliar a deformabilidade das argamassas, foi realizado num equipamento que pode fornecer valores diferentes para a mesma argamassa, caso os provetes ensaiados contenham teores de humidade no interior, diferentes. Os valores obtidos para as argamassas de cura marítima podem ter sido influenciados, apesar de se ter feito o possível para minimizar esta adversidade.

O cálculo das resistências à compressão e à tracção por flexão, assim como o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, permitiram avaliar as argamassas quanto às suas características mecânicas. Verifica-se que as argamassas de traço [1;2] sem metacaulino são, no geral, as únicas a apresentarem maiores resistências mecânicas num ambiente de cura marítimo quando comparadas com argamassas iguais de ambiente de cura standard, o que leva a concluir que, a cura standard conduz, maioritariamente, a argamassas mais resistentes a nível mecânico quando comparadas com as mesmas argamassas sujeitas à exposição marítima. Conclui-se ainda que a presença de metacaulino não aumenta a resistência à tracção por flexão das argamassas, e nos traços mais fracos em ligante, o metacaulino baixa consideravelmente os valores de resistência à tracção das argamassas. Quanto à resistência à compressão, conclui-se que o metacaulino, nas argamassas de traço [1;2], aumenta consideravelmente este valor. Nas argamassas de traço [1;3] o metacaulino não afecta a resistência à compressão de uma forma padronizada. Por fim, conclui-se que o traço da argamassa é o parâmetro

que mais influencia as resistências mecânicas das argamassas e que, geralmente, quanto mais forte em ligante é, mais resistência mecânica oferece.

O comportamento das argamassas sob acção da água foi estudado através dos ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem. Na avaliação do comportamento das argamassas face à água conclui-se que a ambiente de cura pouco interfere. Deste estudo conclui-se, também, que a presença de metacaulino não abona a favor das argamassas, independentemente do traço destas. O bom comportamento face à água equivale a dizer baixos valores de CC, VA e IS, valores calculados no capítulo da análise de resultados. Conclui-se ainda que a porosidade aberta está relacionada com o comportamento das argamassas face à acção da água e que um aumento da percentagem de porosidade aberta numa argamassa conduz a que esta piore o seu comportamento. Quanto maior o teor em metacaulino numa argamassa, maior o valor da percentagem de porosidade aberta.

A nível das características térmicas, o ensaio de condutibilidade térmica permitiu concluir que, independentemente do ambiente de cura, que pouco interfere nesta característica das argamassas, a presença de metacaulino é benéfica, ou seja, conduz a valores de condutibilidade térmica mais baixos à medida que a percentagem de metacaulino aumenta nas argamassas. Este resultado é muito favorável ao metacaulino, uma vez que, hoje em dia, as características térmicas dos edifícios são de grande importância, pois têm grandes repercussões no meio ambiente e nos consumos de energia que são depois pagos pelo utilizador do espaço.

O ensaio de resistência aos sulfatos permitiu concluir que as argamassas com metacaulino são as que apresentam menores resistências aos ciclos molhagem/secagem a que o ensaio obrigou. Não foram notadas tendências quanto ao ambiente de cura a que as argamassas foram sujeitas. O procedimento deste ensaio resultou de uma adaptação a uma norma de ensaio para pedra natural e, dados os resultados, tão agressivos para as argamassas, conclui-se que este necessita de ser alterado para espelhar com mais veracidade as condições de reais.

De um modo geral, conclui-se que todas as argamassas estudadas são adequadas à reabilitação e conservação de edifício, com excepção feita à argamassa L3_Mk30 que, para um ambiente de cura marítima, apresentou valores insatisfatórios segundo Veiga (2010). A substituição da cal aérea por metacaulino pode trazer vantagens nalguns casos. Uma dessas vantagens é o endurecimento rápido nas argamassas de traço [1;2], independentemente do ambiente de cura. Esta vantagem vem colmatar uma grande desvantagem que a cal aérea apresenta, quando comparada com o cimento Portland.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo em conta panorama europeu, o tema da presente dissertação, para além de actual, é de extrema utilidade, por isso todos os desenvolvimentos futuros que venham a aparecer sobre esta temática serão bem-vindos. No seguimento desta dissertação considera-se ser interessante:

- Avaliar o comportamento destas argamassas com percentagens de metacaulino mais baixas;
- Realizar os mesmos ensaios para idades de cura maiores;
- Realizar para estas argamassas um ensaio de resistência aos sulfatos que simule melhor as condições a que as argamassas estão sujeitas, substituindo, por exemplo, a solução usada por água do mar;
- Realizar para estas argamassas um ensaio de condutibilidade térmica com provetes mais apropriados;
- Realizar ensaios *in situ* a estas argamassas, aplicando-as directamente sobre suportes reais, com o objectivo de testar a aderência, a fendilhação, a permeabilidade à água, etc.

BIBLIOGRAFIA

- A PROPRIEDADE URBANA – nº439, MARÇO 2014. *Reabilitação Urbana*. Propriedade e edição: Associação Lisbonense de Proprietários, págs. 13-19. Lisboa.
- AECOPS (2009) – *O Mercado da Reabilitação. Enquadramento, Relevância e Perspectivas*. Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas. (Disponível em http://prewww.aecops.pt/pls/daecops3/WEB_EXTRACT_EXTERNAL.GET_EXTERNAL?code=29390781&col_ext=FILE1&tab=blist_downloads, acedido em Novembro de 2013)
- AECOPS (2011) – *Uma Visão Revisitada do Futuro – Uma Tragédia Anunciada?* Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas. (Disponível em: http://prewww.aecops.pt/pls/daecops3/WEB_EXTRACT_EXTERNAL.GET_EXTERNAL?code=31828866&col_ext=FILE1&tab=blist_downloads, acedido em Setembro de 2013)
- AGGELAKOPOULOU, E.; BAKOLAS, A. & MOROPOULOU, A. (2011). *Properties of Lime-Metakaolin Mortars for the Restoration of Historic Masonries*. Applied Clay Science, 53(1), págs. 15-19, Elsevier.
- APFAC (2012). <http://www.apfac.pt/layout.asp?area=3000>. Acedido em Dezembro de 2013.
- BANDEIRA, A. (2012). *Caracterização de Argamassas de Cal Aérea e de Cal Hidráulica Natural com Metacaulino. Evolução com a Idade*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- BRANCO, T. (2013). *Evolução e Comparação das Características de Argamassas de Cal Aérea com Adição de Metacaulino*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- BRITO, V.; GONCALVES, T.; FARIA, P. (2011). *Coatings Applied on Damp Building Substrates: Performance and Influence on Moisture Transport*. Journal of Coatings Technology and Research, Vol.8 (4), págs.513-525.
- CÂMARA MUNICIPAL DA LOURINHÃ (2013). <http://www.cm-lourinha.pt/custompages/showpage.aspx?pageid=e78d56de-092a-4461-9d47-3d7b58cc469e&m=a110>. Acedido em Dezembro de 2013.
- CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS (2014). <http://www.cm-tvedras.pt/urbanismo/projetos/>. Acedido em Fevereiro de 2014.
- CARNEIRO, J. (2012). *Caracterização de Argamassas de Cal Hidráulica Natural com Metacaulino*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- CEN (1998/2006). EN 1015-2:1998/A1:2006. *Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 2: Bulk Sampling of Mortars and Preparation of Test Mortars*. Brussels, CEN.
- CEN (1999/2006). EN 1015-11:1999/A1:2006. *Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar*. Brussels, CEN.
- CEN (2002). EN 1015-18:2002. *Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 18: Determination of Water Absorption Coefficient Due to Capillary Action of Hardened Mortar*. Brussels, CEN.
- CEN (2006). EN 1015-3:1999/A1:2004/A2:2006. *Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 3: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by flow table)*. Brussels, CEN.

- CEN (2009). EN 15801:2009. *Conservation of Cultural Property. Test, Methods. Determination of Water Absorption by Capillarity*. Brussels, CEN.
- CERNY, R.; KUNCA, A.; TYDLITAT, V.; DRCHALOVA, J. & ROVNANIKOVA, P. (2006). *Effect of Pozzolanic Admixtures on Mechanical, Thermal and Hygric Properties of Lime Plasters*. *Construction and Building Materials*, 20(10), págs. 849-857.
- FALCÃO, S. (2010). *Caracterização das Argamassas Antigas da Igreja do Colégio de Portimão*. Dissertação de Mestrado em Química Aplicada ao Património Cultural, Lisboa, FC-UL.
- FARIA, P. (2004). *Argamassas de Revestimentos para Alvenarias Antigas. Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa, FCT-UNL.
- FARIA, P. (2011). *Caracterização de Argamassas de Cal e Metacaulino. Procedimentos do Projecto METACAL*. DEC, FCT-UNL.
- FARIA, P., MARTINS, A. (2011). *Influence of Curing Conditions on Lime and Lime-Metakaolin Mortars*. XII International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto - Portugal, págs. 12-15 Abril, 2011.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. (2007) . *Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado*. 2º Congresso Nacional de argamassas de construção. Lisboa.
- FELGUEIRAS, N. (2011). *Avaliação da Evolução das Características de Argamassas de Cal Aérea com Diferentes Teores de Metacaulino Sujeitas a Ambientes de Diferente Humidade Relativa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- FERRAZ, E.; ANDREJKOVIČOVÁ, S.; SANTOS SILVA, A.; ROCHA, F.; VELOSA, A. (2012). *Utilização do Ensaio de Chapalle Modificado para Avaliação da Reactividade Pozolânica de Metacaulinos*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS. Coimbra.
- FIGUEIREDO, C. (2011). *O Papel do Metacaulino na Protecção do Betão Contra a Acção dos Cloretos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Aveiro, UA.
- GAMEIRO, A.; SANTOS SILVA, A.; FARIA, P.; GRILO, J.; BRANCO, T.; VEIGA, R.; VELOSA, A. (2013). *Physical and Chemical Assessment of Lime-metakaolin Mortars: Influence of Binder: Aggregate Ratio*. *Cement & Concrete Composites*.
- GAMEIRO, A.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R. & VELOSA, A. (2012). *Hydration Products of Lime-metakaolin Pastes at Ambient Temperature with Ageing*. *Thermochimica Acta*, vol. 535, págs. 36-41. Elsevier.
- GRILO, J. (2013). *Caracterização de Argamassas de Cal Hidráulica Natural NHL3 de Fabrico Nacional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- GUERREIRO, C.; HENRIQUES, F. & PINTO, A. (2007). *Análise Comparativa de Argamassas de Cal Aérea, Medianamente Hidráulicas e de Ligantes Mistos para Rebocos de Edifícios Antigos*. In 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.
- INGENIUM – nº135, MAIO/JUNHO 2013. *Internacionalização da Engenharia Portuguesa*. Ingenium Edições Lda., págs. 15-85. Lisboa.
- IPQ (2001). NP EN 12370:2001. *Métodos de Ensaio para Pedra Natural. Determinação da Resistência à Cristalização de Sais*. Almada, IPQ

- IPQ (2002a). NP EN 459-1. *Cal de Construção. Parte 1: Definições, Especificações e Critérios de Conformidade*. Almada, IPQ.
- IPQ (2006). NP EN 14146:2006. *Métodos de Ensaio para Pedra Natural. Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (Através da Medição da Frequência de Ressonância Fundamental)*. Almada, IPQ.
- IPQ (2011). NP EN 459-1. *Cal de Construção. Parte 1: Definições, Especificações e Critérios de Conformidade*. Almada, IPQ.
- IPQ (2006). NP EN 196-1:2006. *Métodos de Ensaio de Cimentos – Parte 1: Determinação das Resistências Mecânicas*. Almada, IPQ.
- IPQ (2008). NP EN 1936:2008. *Métodos de Ensaio para Pedra Natural - Determinação das Massas Volúmicas Real e Aparente e das Porosidades Total e Aberta*. Almada, IPQ.
- LANAS, J.; SIRERA, R. & ALVAREZ, J. (2006). *Study of the Mechanical Behavior of Masonry Repair Lime-based Mortars Cured and Exposed Under Different Conditions*. Cement and Concrete Research, 36(5), págs. 961-970. Elsevier.
- LAWRENCE, R.; MAYS, T.; RIGBY, S.; WALKER, P. & D'AYALA, D. (2007). *Effects of Carbonation on the Pore Structure of Non-hydraulic Lime Mortars*. Cement and Concrete Research, vol. 37, págs. 1059-1069. Elsevier.
- LENART, M. (2013). *Impact Assessment of Lime Additive and Chemical Admixtures on Selected Properties of Mortars*. Procedia Engineering, págs. 687-696. Elsevier
- MARTINS, A. (2010). *A influência das Condições de Cura em Argamassas de Cais Aéreas com e sem Adição de Metacaulino*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro – Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal.
- MASSENA, R. (2011). *Avaliação da Evolução das Características de Argamassas de Cal Aérea com Diferentes Teores de Metacaulino em Exposição Natural*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.
- MAURY, M. & BLUMENSCHIN, R. (2012). *Produção de Cimento: Impactos à Saúde e ao Meio Ambiente*. Sustentabilidade em Debate – Brasília, vol. 3, págs. 75-96. Brasília.
- PORTAL DA HABITAÇÃO (2014). <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/index.jsp>. Acedido em Janeiro de 2014
- PROENÇA, A. M. (2011). *A Influência do Metacaulino no Controlo da Reacção Alkali-silica*. 1^{as} Jornadas de Materiais de Construção. Porto, FEUP.
- RATO, V. (2006). *Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa, FCT-UNL.
- RTP (2014). <http://www.rtp.pt/noticias/index.php?tm=8&headline=182&visual=52>. Acedido em Fevereiro de 2014.
- SEMANÁRIO EXPRESSO (2014). Acedido em Janeiro de 2014.
- SEQUEIRA, A.; FRADE, D. & GONÇALVES, P. (2007). *Cal Hidráulica – Um Ligante para a Reabilitação*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.
- SIDDIQUE, R. & KLAUS, J. (2009). *Influence of Metakaolin on the Properties of Mortar and Concrete*. Applied Clay Science, págs. 392-400. Elsevier

- SOUSA-COUTINHO, A. (1988a). *Fabrico e Propriedades do Betão* – Volume I, Lisboa, LNEC.
- SOUSA-COUTINHO, A. (1988b). *Fabrico e Propriedades do Betão* – Volume III, Lisboa, LNEC.
- STEFANIDOU, M. (2010). *Methods for Porosity Measurement in Lime-based Mortars*. Construction and Building Materials, vol. 24, págs. 2572-2578. Elsevier.
- VEIGA, R. (2003). *Argamassas para Revestimento de Paredes de Edifícios Antigos. Características e Campo de Aplicação de Algumas Formulações Correntes*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC.
- VEIGA, R. (2006). *Comportamento de Rebocos para Edifícios Antigos: Exigências Gerais e Requisitos Específicos para Edifícios Antigos*. In Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos. Lisboa, LNEC.
- VEIGA, R., FRAGATA, A., VELOSA, A. L., MAGALHÃES, A. C. & MARGALHA, G. (2010). *Lime-based Mortars: Viability for Use as Substitution Renders in Historical Buildings*. International Journal of Architectural Heritage, volume 4, págs. 177-195. Taylor & Francis.
- VEIGA, R.; VELOSA, A. & MAGALHÃES, A. (2009). *Experimental Applications of Mortars with Pozzolanic Additions: Characterization and Performance Evaluation*. Construction and Building Materials, volume 23, págs. 318-327. Elsevier.
- VEJMELKOVA, E.; KEPPERT, M.; KERNER, Z.; ROVNANIKOVA, P. & CERNY, R. (2012). *Mechanical, Fracture-mechanical, Hydric, Thermal, and Durability Properties of Lime-metakaolin Plasters for Renovation of Historical Buildings*. Construction and Building Materials, vol. 31, págs. 22-28. Elsevier.
- VELOSA, A. (2006). *Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Aveiro, Universidade de Aveiro.
- VIEIRA, R. (2013). *Argamassas de Cal Aérea com Um Ano – Influência das Condições de Cura e da Composição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Lisboa, FCT-UNL.

ANEXOS

ANEXOS I – RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS DE CADA PROVETE

Quadro I.I – Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias

Argamassa	Provete	Massa (g)	E (MPa)						Provete		Argamassa	
			E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	Média [MPa]	DP	Média [MPa]	DP
L2	DS11	447,352	2667	2680	2737	2770	2779		2727	51	2837	149
	DS12	436,500	3036	3070	3103				3070	34		
	DS13	436,800	2777	2787	2806	2833			2801	25		
L2_Mk30	DS21	435,000	1300	1313	1317	1324			1314	10	1408	144
	DS22	435,400	1302	1309					1306	5		
	DS23	439,300	1468	1503	1515	1732			1555	120		
L2_Mk50	DS31	429,900	7777	7849	7920				7849	72	7917	300
	DS32	440,500	8463						8463	0		
	DS33	437,600	7559	7933					7746	264		
L3	DS41	449,883	3635	3666	3743	3760			3701	60	3507	227
	DS42	454,100	3112	3777					3445	470		
	DS43	441,762	3209	3387	3401	3412	3479		3378	101		
L3_Mk30	DS51	444,120	1659	1683	1719	1743			1701	37	1970	357
	DS52	444,277	1640	1779	1798	1829			1762	84		
	DS53	444,507	2413	2426	2470	2483			2448	34		
L3_Mk50	DS61	436,141	1083	1088	1089	1106			1092	10	1123	25
	DS62	435,877	1127	1138	1142	1145			1138	8		
	DS63	434,440	1132	1133	1140	1153			1140	10		
L2	DM11	439,416	2944	3042	3054	3111			3038	69	3272	186
	DM12	439,820	3316	3415	3426	3532			3422	88		
	DM13	436,314	3312	3362	3374	3376			3356	30		
L2_Mk30	DM21	440,310	1608	1675	1691	1709	1750		1687	52	1624	72
	DM22	438,956	1535	1549	1636	1674	1680		1615	69		
	DM23	439,603	1529	1535	1546	1620	1624		1571	47		
L2_Mk50	DM31	435,242	2999	3012	3098	3107			3054	56	3049	67
	DM32	427,532	2982	2982	2984	2998			2987	8		
	DM33	434,640	3022	3098	3146	3156			3106	61		
L3	DM41	440,373	3982						3982		3836	86
	DM42	451,472	Provete não ensaiado									
	DM43	460,667	3752	3776	3786	3833	3886		3807	53		
L3_Mk30	DM51	428,866	Provete não ensaiado								2047	128
	DM52	442,569	1894	1952	1976	1994			1954	44		
	DM53	439,026	2125	2133	2258				2172	75		
L3_Mk50	DM61	437,123	3457	3480	3526	3548	3642		3531	72	3616	120
	DM62	432,297	3651	3686	3749	3802			3722	67		
	DM63	431,352	Valores fora da gama									

Quadro I.II – Módulo de elasticidade dinâmico aos 90 dias

Argamassa	Provete	Massa (g)	E (MPa)						Provete		Argamassa	
			E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	Média [MPa]	DP	Média [MPa]	DP
L2	DS14	439,147	3293	3287	3331	3328			3310	23	3443	103
	DS15	439,279	3516	3445	3476	3481			3480	29		
	DS16	440,909	3548	3530	3539	3536			3538	8		
L2_Mk30	DS24	440,873	1563	1562	1709				1611	85	1558	73
	DS25	439,925	Valores fora da gama									
	DS26	439,973	1541	1546	1488	1500			1519	29		
L2_Mk50	DS34	430,361	6487	6471	6395	6424			6444	42	7786	1404
	DS35	438,092	6521	7619	7619	7604			7341	547		
	DS36	436,403	9533	9588	9575	9597			9573	28		
L3	DS44	444,990	4073	4147	4124	4136	4073		4111	35	4050	62
	DS45	444,454	4021	4028	4064	4068			4045	24		
	DS46	441,355	3986	3978	3971	3975			3978	6		
L3_Mk30	DS54	441,528	2682	2658	2665	2677			2671	11	2406	354
	DS55	444,740	1918	1944	1936	1914			1928	14		
	DS56	435,751	2622	2631	2612	2618			2621	8		
L3_Mk50	DS64	435,933	2949	3006	2969	3011			2984	30	2919	57
	DS65	433,654	2872	2863	2857	2859			2863	7		
	DS66	429,840	2923	2925	2931	2866			2911	30		
L2	DM14	445,209	3945	3955	3958	3941			3950	8	3969	53
	DM15	446,829	4065	4009	4022	4035			4033	24		
	DM16	442,253	3969	3920	3903	3905			3924	31		
L2_Mk30	DM24	440,827	4796	4806	4791	4798			4798	6	4364	350
	DM25	434,753	4028	4095	4236	4239			4150	105		
	DM26	437,288	4064	4074	4081				4073	9		
L2_Mk50	DM34	427,543	3990	4007	4010	3964			3993	21	3991	14
	DM35	434,356	Valores fora da gama									
	DM36	437,116	3983	3991	3986	3993			3988	5		
L3	DM44	461,359	4448	4461	4450	4456			4454	6	4412	35
	DM45	445,620	4408	4410	4407	4406			4408	2		
	DM46	441,130	4363	4396	4364	4380			4376	16		
L3_Mk30	DM54	448,312	1587	1640	1595	1598			1605	24	1709	100
	DM55	441,218	1794	1788	1791	1794	1796		1793	3		
	DM56	412,174	Provete não ensaiado									
L3_Mk50	DM64	428,221	4907	4890	4907	4893			4899	9	2562	1726
	DM65	430,861	1387	1382	1353	1346			1367	21		
	DM66	423,694	1417	1421	1411	1431			1420	8		

Quadro I.III – Módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias

Argamassa	Provete	Massa (g)	E (MPa)								Provete		Argamassa	
			E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	Média [MPa]	DP	Média [MPa]	DP
L2	DS17	442,041	3469	3462	3457	3411	4248	4836	6326		4173	1094	6912	4510
	DS18	439,340	3284	3264	3314	3323	12697	12727	12796	12798	8025	5056		
	DS19	437,988	3356	3378	3383	3401	12998	13007	13018	13034	8197	5150		
L2_Mk30	DS27	437,220	5736	6630							6183	632	6152	527
	DS28	437,459	5631	5633	5626	5640					5633	6		
	DS29	440,585	6643	6651	6658	6670					6656	11		
L2_Mk50	DS37	436,699	8871	8937	8938	8940					8922	34	7837	1015
	DS38	443,907	6480	6585	6588	6614					6567	59		
	DS39	426,539	7946	7983	8007	8159					8024	94		
L3	DS47	442,961	5088	5113	5197	5571					5242	224	5367	280
	DS48	441,410	4877	5186	5326	5533	5547	5849			5386	336		
	DS49	448,715	5108	5420	5646	5670					5461	261		
L3_Mk30	DS57	440,612	2580	2594	2611	2692	2060	2108	2041	2120	2351	290	2104	435
	DS58	440,551	1522	1547	1680	1687					1609	87		
	DS59	434,421	Valores fora da gama											
L3_Mk50	DS67	433,084	2574	2610	2626	2628	5609	5638	5799	5872	4170	1670	4352	2112
	DS68	429,741	2072	2107	2137	2146					2116	33		
	DS69	426,302	6936	6928	6945	7011					6955	38		
L2	DM17	440,699	4817	5198	5536	5545					5274	345	5909	716
	DM18	453,926	Valores fora da gama											
	DM19	455,402	6478	6500	6562	6632					6543	69		
L2_Mk30	DM27	432,795	849	875	3523	3554	3558	3611			2662	1394	2790	1386
	DM28	436,999	894	919	3951	3956	4005	4270			2999	1625		
	DM29	438,871	948	956	3314	3665	3669	3695			2708	1367		
L2_Mk50	DM37	442,942	2009	2017	2039						2022	16	3651	2037
	DM38	439,850	1969	1977	2031						1992	34		
	DM39	437,034	3039	3072	3091	3198	6518	6630	6762	6765	4884	1910		
L3	DM47	455,794	5553	5586	5590	5683					5603	56	5810	451
	DM48	457,903	5371	5646	6491	6557					6016	598		
	DM49	451,753	Valores fora da gama											
L3_Mk30	DM57	434,833	1200	1214	1239	1310					1241	49	1194	162
	DM58	437,950	981	987	992	992	1340	1361	1357	1359	1171	196		
	DM59		Provete não ensaiado											
L3_Mk50	DM67	442,231	5556	5558	5570	5601					5571	21	4562	680
	DM68	428,646	4497	4507	4528	4532					4516	17		
	DM69	428,368	3722	3727	3739	3752	4288	4356	4518	4539	4080	378		

Quadro I.IV – Resistências mecânicas aos 28 dias

Argamassa	Provete	F _t	F _c	R _t provete	R _c provete	R _t arg.	R _c arg.	DP R _t	DP R _c
		[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
L2	DS11	134	756	0,315	0,472	0,316	0,454	0,017	0,021
	DS12	128	735	0,300	0,459				
	DS13	142	689	0,334	0,431				
L2_Mk30	DS21	94	2427	0,221	1,517	0,234	1,761	0,011	0,216
	DS22	102	2942	0,239	1,839				
	DS23	103	3085	0,242	1,928				
L2_Mk50	DS31	273	4971	0,639	3,107	0,567	2,898	0,085	0,198
	DS32	202	4340	0,473	2,713				
	DS33	250	4598	0,587	2,874				
L3	DS41	130	1034	0,305	0,646	0,358	0,592	0,054	0,048
	DS42	151	925	0,354	0,578				
	DS43	176	884	0,414	0,553				
L3_Mk30	DS51	19	571	0,045	0,357	0,048	0,402	0,013	0,112
	DS52	16	512	0,037	0,320				
	DS53	27	849	0,062	0,530				
L3_Mk50	DS61	47	1222	0,110	0,764	0,118	0,751	0,008	0,017
	DS62	54	1213	0,127	0,758				
	DS63	50	1171	0,117	0,732				
L2	DM11	151	792	0,353	0,495	0,324	0,527	0,030	0,027
	DM12	125	868	0,292	0,543				
	DM13	139	868	0,326	0,542				
L2_Mk30	DM21	141	3344	0,331	2,090	0,311	1,834	0,018	0,260
	DM22	127	2944	0,297	1,840				
	DM23	131	2514	0,306	1,571				
L2_Mk50	DM31	182	4076	0,427	2,548	0,415	2,518	0,051	0,181
	DM32	153	4291	0,358	2,682				
	DM33	196	3718	0,459	2,324				
L3	DM41	72	456	0,169	0,285	0,278	0,414	0,154	0,235
	DM42		437	0,000	0,273				
	DM43	165	1096	0,387	0,685				
L3_Mk30	DM51		368	0,000	0,230	0,063	0,399	0,004	0,146
	DM52	26	755	0,060	0,472				
	DM53	28	790	0,066	0,494				
L3_Mk50	DM61	46	1177	0,108	0,736	0,188	0,888	0,115	0,290
	DM62	58	1129	0,136	0,706				
	DM63	137	1956	0,320	1,223				

Quadro I.V – Resistências mecânicas aos 90 dias

Argamassa	Provete	F _t	F _c	R _t provete	R _c provete	R _t arg.	R _c arg.	DP R _t	DP R _c
		[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
L2	DS14	138	880	0,323	0,550	0,360	0,636	0,038	0,074
	DS15	153	1081	0,359	0,676				
	DS16	170	1090	0,398	0,681				
L2_Mk30	DS24	139	3510	0,326	2,194	0,278	1,935	0,042	0,225
	DS25	105	2930	0,246	1,831				
	DS26	112	2850	0,263	1,781				
L2_Mk50	DS34	187	3915	0,438	2,447	0,426	2,014	0,046	0,485
	DS35	160	2383	0,375	1,489				
	DS36	198	3370	0,464	2,106				
L3	DS44	188	10961	0,441	6,851	0,420	2,701	0,020	2,594
	DS45	171	1074	0,401	0,671				
	DS46	178	932	0,417	0,583				
L3_Mk30	DS54	32	976	0,075	0,610	0,065	0,451	0,014	0,215
	DS55	21	330	0,049	0,206				
	DS56	30	861	0,070	0,538				
L3_Mk50	DS64	50	790	0,117	0,494	0,101	0,492	0,014	0,005
	DS65	40	793	0,094	0,496				
	DS66	39	778	0,091	0,486				
L2	DM14	169	1350	0,396	0,844	0,427	0,793	0,029	0,056
	DM15	194	1173	0,455	0,733				
	DM16	184	1285	0,431	0,803				
L2_Mk30	DM24	91	2278	0,213	1,424	0,213	1,134	0,002	0,255
	DM25	92	1655	0,216	1,034				
	DM26	90	1510	0,211	0,944				
L2_Mk50	DM34	52	1531	0,122	0,957	0,211	1,236	0,109	0,467
	DM35	142	2840	0,333	1,775				
	DM36	76	1560	0,178	0,975				
L3	DM44	175	789	0,410	0,493	0,450	0,701	0,041	0,182
	DM45	191	1328	0,448	0,830				
	DM46	210	1246	0,492	0,779				
L3_Mk30	DM54	24	598	0,056	0,374	0,047	0,315	0,012	0,087
	DM55	22	570	0,052	0,356				
	DM56	14	343	0,033	0,214				
L3_Mk50	DM64	83	1345	0,195	0,841	0,220	0,934	0,025	0,104
	DM65	104	1465	0,244	0,916				
	DM66	94	1675	0,220	1,047				

Quadro I.VI – Resistências mecânicas aos 180 dias

Argamassa	Provete	F _t	F _c	R _t provete	R _c provete	R _t arg.	R _c arg.	DP R _t	DP R _c
		[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
L2	DS17	177	1285	0,415	0,803	0,362	0,710	0,047	0,083
	DS18	139	1087	0,326	0,679				
	DS19	147	1034	0,345	0,646				
L2_Mk30	DS27	98	2995	0,230	1,872	0,268	1,866	0,039	0,168
	DS28	115	2712	0,268	1,695				
	DS29	131	3248	0,307	2,030				
L2_Mk50	DS37	198	3157	0,464	1,973	0,393	1,626	0,062	0,527
	DS38	154	1632	0,360	1,020				
	DS39	151	3017	0,354	1,885				
L3	DS47	199	1273	0,466	0,796	0,435	0,678	0,039	0,109
	DS48	191	1053	0,448	0,658				
	DS49	167	930	0,391	0,581				
L3_Mk30	DS57	35	827	0,082	0,517	0,053	0,386	0,025	0,114
	DS58	16	518	0,036	0,323				
	DS59	17	507	0,040	0,317				
L3_Mk50	DS67	37	795	0,087	0,497	0,241	0,897	0,136	0,350
	DS68	147	1678	0,343	1,049				
	DS69	125	1834	0,292	1,146				
L2	DM17	162	1152	0,380	0,720	0,433	0,888	0,057	0,152
	DM18	182	1486	0,427	0,928				
	DM19	210	1625	0,492	1,015				
L2_Mk30	DM27	66	1414	0,155	0,883	0,151	0,880	0,009	0,061
	DM28	60	1306	0,141	0,816				
	DM29	68	1503	0,158	0,939				
L2_Mk50	DM37	144	2904	0,336	1,815	0,283	1,478	0,134	0,482
	DM38	163	2710	0,382	1,694				
	DM39	56	1481	0,131	0,925				
L3	DM47	190	1512	0,444	0,945	0,332	0,915	0,205	0,036
	DM48	195	1480	0,457	0,925				
	DM49	41	1400	0,095	0,875				
L3_Mk30	DM57	6		0,013	0,000	0,025	0,202	0,017	0,015
	DM58	16	306	0,036	0,191				
	DM59		341	0,000	0,213				
L3_Mk50	DM67	103	1910	0,241	1,194	0,205	0,890	0,032	0,264
	DM68	81	1218	0,189	0,761				
	DM69	79	1142	0,185	0,714				

ANEXO II – RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS DE CADA PROVETE

Quadro II.I – Porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 28 dias

Argamassa	Provete	Massa [g]			P _{ab} provete	P _{ab} arg.	MVA provete	MVA arg.
		M ₁	M ₂	M ₃	[%]	[%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
L2	DS11	50,673	28,202	57,705	23,8	23,3	1718	1719
	DS12	50,432	27,862	57,142	22,9		1722	
	DS13	50,380	27,807	57,158	23,1		1716	
L2_Mk30	DS21	63,634	37,480	75,490	31,2	31,3	1674	1663
	DS22	48,122	28,193	57,248	31,4		1656	
	DS23	63,310	37,112	75,251	31,3		1660	
L2_Mk50	DS31	57,369	33,389	68,773	32,2	32,5	1621	1605
	DS32	58,541	33,887	70,779	33,2		1587	
	DS33	65,277	37,703	78,300	32,1		1608	
L3	DS41	61,550	34,059	69,958	23,4	24,5	1715	1678
	DS42	57,575	31,551	66,450	25,4		1650	
	DS43	55,621	30,544	63,849	24,7		1670	
L3_Mk30	DS51	52,994	30,632	63,380	31,7	33,0	1618	1603
	DS52	52,441	30,574	63,454	33,5		1595	
	DS53	58,545	34,300	70,958	33,9		1597	
L3_Mk50	DS61	56,266	32,883	68,641	34,6	34,1	1574	1591
	DS62	67,407	39,557	81,636	33,8		1602	
	DS63	61,924	36,293	75,060	33,9		1597	
L2	DM11	55,306	30,590	64,316	26,7	26,5	1640	1648
	DM12	66,190	36,628	76,909	26,6		1643	
	DM13	63,894	35,552	73,988	26,3		1662	
L2_Mk30	DM21	47,441	27,814	57,761	34,5	33,5	1584	1604
	DM22	61,014	35,694	73,830	33,6		1600	
	DM23	69,721	40,724	83,574	32,3		1627	
L2_Mk50	DM31	64,467	37,737	76,636	31,3	31,2	1657	1660
	DM32	53,219	31,054	63,295	31,3		1651	
	DM33	71,960	42,252	85,302	31,0		1672	
L3	DM41	76,007	40,943	84,893	20,2	22,2	1729	1715
	DM42	55,815	30,628	63,667	23,8		1689	
	DM43	71,281	39,310	80,631	22,6		1725	
L3_Mk30	DM51	103,013	59,970	120,191	28,5	29,3	1711	1683
	DM52	53,635	31,086	63,419	30,3		1659	
	DM53	49,398	28,565	57,967	29,1		1680	
L3_Mk50	DM61	48,657	28,539	58,126	32,0	32,2	1645	1628
	DM62	47,034	27,507	57,386	34,6		1574	
	DM63	52,096	30,219	61,477	30,0		1667	

Quadro II.II – Porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 90 dias

Argamassa	Provete	Massa [g]			P _{ab} provete	P _{ab} arg.	MVA provete	MVA arg.
		M ₁	M ₂	M ₃	[%]	[%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
L2	DS14	47,388	26,464	55,955	29,0	33,8	1607	1500
	DS15	46,438	25,935	64,312	46,6		1210	
	DS16	57,662	32,268	66,545	25,9		1682	
L2_Mk30	DS24	53,130	31,112	63,924	32,9	33,3	1619	1607
	DS25	54,639	32,057	65,737	33,0		1622	
	DS26	44,205	25,768	53,744	34,1		1580	
L2_Mk50	DS34	58,663	34,499	70,979	33,8	33,5	1608	1611
	DS35	43,054	25,205	52,079	33,6		1602	
	DS36	46,655	27,430	56,193	33,2		1622	
L3	DS44	53,552	29,931	60,890	23,7	23,4	1730	1722
	DS45	56,545	31,317	64,523	24,0		1703	
	DS46	50,843	28,093	57,411	22,4		1734	
L3_Mk30	DS54	57,087	33,405	67,673	30,9	31,3	1666	1676
	DS55	53,644	31,935	64,468	33,3		1649	
	DS56	51,706	30,472	60,649	29,6		1713	
L3_Mk50	DS64	49,521	29,259	59,168	32,3	32,6	1656	1670
	DS65	49,441	29,263	59,165	32,5		1653	
	DS66	51,428	31,152	61,389	32,9		1701	
L2	DM14	63,410	35,357	73,843	27,1	26,4	1648	1679
	DM15	47,332	26,637	54,617	26,0		1692	
	DM16	48,610	27,455	56,069	26,1		1699	
L2_Mk30	DM24	33,703	19,877	40,679	33,5	32,9	1620	1644
	DM25	40,655	24,095	48,560	32,3		1662	
	DM26	46,540	27,612	55,822	32,9		1650	
L2_Mk50	DM34	53,895	31,877	66,128	35,7	34,4	1574	1608
	DM35	57,961	34,306	70,026	33,8		1623	
	DM36	56,552	33,548	68,310	33,8		1627	
L3	DM44	68,333	38,387	78,066	24,5	24,4	1722	1723
	DM45	72,143	41,091	82,291	24,6		1751	
	DM46	65,431	36,121	74,684	24,0		1697	
L3_Mk30	DM54	49,308	28,652	58,768	31,4	32,5	1637	1618
	DM55	55,703	32,490	66,441	31,6		1641	
	DM56	35,396	20,682	43,146	34,5		1576	
L3_Mk50	DM64	65,272	38,262	78,822	33,4	32,8	1609	1616
	DM65	52,050	30,580	62,454	32,6		1633	
	DM66	73,172	42,272	87,859	32,2		1605	

Quadro II.III – Porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 180 dias

Argamassa	Provete	Massa [g]			P _{ab} provete	P _{ab} arg.	MVA provete	MVA arg.
		M ₁	M ₂	M ₃	[%]	[%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
L2	DS17	59,475	34,205	68,497	26,3	27,5	1734	1705
	DS18	64,658	37,122	75,242	27,8		1696	
	DS19	49,948	28,706	58,355	28,4		1685	
L2_Mk30	DS27	43,983	26,183	53,155	34,0	33,6	1631	1643
	DS28	59,837	35,681	72,035	33,6		1646	
	DS29	52,378	31,261	62,948	33,4		1653	
L2_Mk50	DS37	71,216	42,002	85,923	33,5	34,3	1621	1652
	DS38	97,215	60,600	117,221	35,3		1717	
	DS39	67,397	39,938	81,629	34,1		1617	
L3	DS47	71,090	40,437	82,562	27,2	27,6	1688	1691
	DS48	54,605	31,282	63,312	27,2		1705	
	DS49	45,269	25,951	52,888	28,3		1681	
L3_Mk30	DS57	-	-	-	-	33,3	-	1645
	DS58	58,797	35,124	70,340	32,8		1670	
	DS59	51,431	30,392	62,136	33,7		1620	
L3_Mk50	DS67	46,594	27,709	57,153	35,9	34,3	1582	1593
	DS68	44,125	25,818	53,500	33,9		1594	
	DS69	70,632	41,158	85,229	33,1		1603	
L2	DM17	56,047	32,268	64,648	26,6	27,4	1731	1722
	DM18	72,832	42,175	84,373	27,3		1726	
	DM19	46,301	26,900	53,982	28,4		1710	
L2_Mk30	DM27	53,343	31,833	64,360	33,9	33,8	1640	1643
	DM28	52,971	31,593	63,854	33,7		1642	
	DM29	49,701	29,727	59,900	33,8		1647	
L2_Mk50	DM37	88,462	52,504	105,617	32,3	33,3	1666	1641
	DM38	52,902	31,534	63,576	33,3		1651	
	DM39	49,464	29,221	59,999	34,2		1607	
L3	DM47	49,886	28,524	57,776	27,0	27,4	1705	1714
	DM48	56,237	32,438	65,436	27,9		1704	
	DM49	51,532	29,873	59,636	27,2		1731	
L3_Mk30	DM57	36,198	21,515	43,707	33,8	32,6	1631	1641
	DM58	63,316	37,460	75,155	31,4		1680	
	DM59	21,473	12,485	25,805	32,5		1612	
L3_Mk50	DM67	48,003	28,250	57,304	32,0	31,9	1652	1656
	DM68	67,387	39,752	80,237	31,7		1664	
	DM69	58,325	34,319	69,620	32,0		1652	

Quadro II.IV – Condutibilidade térmica aos 28 dias

Argamassa	Provete	λ [W/m.K]			λ média/provete	λ média/arg.
		1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	[W/m.K]	[W/m.K]
L2	DS11	0,721	0,748		0,735	0,767
	DS12	0,801	0,794		0,798	
	DS13	0,763	0,777		0,770	
L2_Mk30	DS21	0,548	0,554		0,551	0,549
	DS22	0,511	0,580	0,550	0,547	
	DS23	0,552	0,548		0,550	
L2_Mk50	DS31	0,536	0,419	0,545	0,500	0,511
	DS32	0,509	0,505		0,507	
	DS33	0,520	0,533		0,527	
L3	DS41	0,750	0,777		0,764	0,752
	DS42	0,758	0,735		0,747	
	DS43	0,742	0,747		0,745	
L3_Mk30	DS51	0,411	0,432		0,422	0,451
	DS52	0,469	0,469		0,469	
	DS53	0,466	0,459		0,463	
L3_Mk50	DS61					0,434
	DS62	0,434	0,444		0,439	
	DS63	0,418	0,438		0,428	
L2	DM11	0,752	0,714		0,733	0,734
	DM12	0,747	0,739		0,743	
	DM13	0,718	0,733		0,726	
L2_Mk30	DM21	0,562	0,534		0,548	0,540
	DM22	0,582	0,529	0,506	0,539	
	DM23	0,533	0,530		0,532	
L2_Mk50	DM31	0,736	0,484	0,531	0,584	0,542
	DM32	0,540	0,513		0,527	
	DM33	0,515	0,517		0,516	
L3	DM41	0,713	0,728		0,721	0,741
	DM42	0,764	0,749		0,757	
	DM43	0,753	0,739		0,746	
L3_Mk30	DM51					0,451
	DM52	0,453	0,445		0,449	
	DM53	0,457	0,450		0,454	
L3_Mk50	DM61	0,408	0,428		0,418	0,415
	DM62	0,397	0,413		0,405	
	DM63	0,505	0,348	0,411	0,421	

Quadro II.V – Condutibilidade térmica aos 90 dias

Argamassa	Provete	λ [W/m.K]			λ média/provete	λ média/arg.
		1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	[W/m.K]	[W/m.K]
L2	DS14	0,754	0,744		0,749	0,748
	DS15	0,745	0,749		0,747	
	DS16	0,743	0,751		0,747	
L2_Mk30	DS24	0,556	0,556		0,556	0,560
	DS25	0,565	0,568		0,567	
	DS26	0,555	0,562		0,559	
L2_Mk50	DS34	0,586	0,587		0,587	0,537
	DS35	0,515	0,494		0,505	
	DS36	0,523	0,517		0,520	
L3	DS44	0,786	0,779		0,783	0,766
	DS45	0,757	0,733		0,745	
	DS46	0,777	0,763		0,770	
L3_Mk30	DS54	0,492	0,456	0,465	0,471	0,470
	DS55	0,465	0,398	0,434	0,432	
	DS56	0,485	0,526	0,505	0,505	
L3_Mk50	DS64	0,437	0,455		0,446	0,447
	DS65	0,445	0,453		0,449	
	DS66	0,439	0,455		0,447	
L2	DM14	0,875	0,811	0,833	0,840	0,845
	DM15	0,847	0,841		0,844	
	DM16	0,840	0,865		0,853	
L2_Mk30	DM24	0,588	0,578		0,583	0,577
	DM25	0,579	0,565		0,572	
	DM26	0,571	0,580		0,576	
L2_Mk50	DM34	0,500	0,501		0,501	0,513
	DM35	0,557	0,510	0,518	0,528	
	DM36	0,506	0,512		0,509	
L3	DM44	0,787	0,846	0,847	0,827	0,792
	DM45	0,784	0,833	0,801	0,806	
	DM46	0,656	0,835	0,738	0,743	
L3_Mk30	DM54	0,481	0,505	0,449	0,478	0,478
	DM55					
	DM56					
L3_Mk50	DM64	0,555	0,536		0,546	0,558
	DM65	0,565	0,555		0,560	
	DM66	0,579	0,559		0,569	

ANEXO III – FICHA TÉCNICA DO METACAULINO

ARGICAL-M 1200S



PRODUCT SPECIFICATION

Caractéristiques produit

ARGICAL-M 1200S is an artificial pozzolana (metakaolin). It is obtained by micronising and calcining a kaolinitic clay from the Charentes basin.

ARGICAL-M 1200S is a dehydroxylated aluminium silicate. Its general formula is $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. It is an amorphous non-crystallised material, constituted of lamellar particles.

ARGICAL-M 1200S est une pouzzolane artificielle (métakaolin), obtenue par broyage et calcination d'une argile kaolinique du bassin des Charentes.

ARGICAL-M 1200S est un silicate d'alumine déshydroxylé, de composition générale $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. C'est un matériau amorphe, non cristallisé, dont les particules présentent une forme lamellaire.

The technical details contained in this data sheet are given in all good faith for indicative purpose only, and do not constitute a guarantee by AGS Minéraux.

Sales are in accordance with our "Conditions of Sale", copies of which will be supplied on request.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre purement indicatif. Les valeurs indiquées n'ont pas obligation pour le fournisseur. Elles ne constituent en aucun cas une garantie sur le produit et sur ses spécifications.

Seule la fiche de Spécification Contractuelle dans le cadre de nos Conditions Générales de Ventes engage notre société auprès des clients.

PRODUCT USE

Additive for concretes, mortars and coatings, made from Portland cement or lime.

Domaine d'utilisation

Additif pour bétons, mortiers, revêtements à base de ciment Portland ou de chaux.

CHEMICAL ANALYSIS

Analyse chimique

SiO_2	55 %
Al_2O_3	39 %
$K_2O + Na_2O$	1,0 %
Fe_2O_3	1,8 %
TiO_2	1,5 %
$CaO + MgO$	0,6 %
	1 %

LOSS ON IGNITION

Perte au feu

TYPICAL PHYSICAL CHARACTERISTICS

Caractéristiques physiques moyennes

pH

Pozzolanic index (Chapelle test) / Indice pouzzolanique

Brightness photovolt blue filter / Blancheur photovolt filtre bleu

Specific area (BET) / Surface spécifique (BET)

Water demand (Marsh cone) / Demande en eau (Cône de Marsh)

Specific gravity / Masse spécifique

Bulk density / Densité apparente

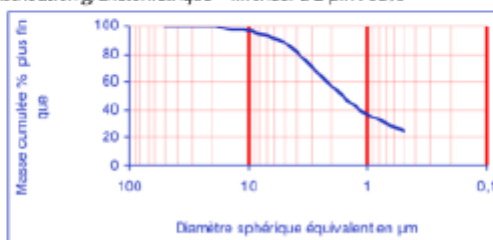
Loose / Non tassé

Tamped / Tassé

G
1400 mg $Ca(OH)_2$ /g
74 %
19 m^2/g
1650 g/kg
2,2 g/cm ³
250 kg/m ³
400 kg/m ³

SIEVE ANALYSIS

Distribution granulométrique – Inférieur à 2 μm : 55%



AGS
Tél : +33 (0)5 46 04 17 11
Fax : +33 (0)5 46 04 21 05
www.ags-mineraux.com
commercial@ags-mineraux.com

Revision 4 – 2008/07/24

